



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

JENNY YLI-SISSALA
DEMONSTRAATIOT OPPIMISEN TUKENA ORGAANISEN
KEMIAN YLIOPISTO-OPETUKSESSA

Diplomityö

Tarkastajat: professori Robert Franzén
ja FM Sari Yrjänäinen

Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden ja ympäristötekniikan
tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 7. lokakuuta 2009

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknis-luonnontieteellinen koulutusohjelma

YLI-SISSALA, JENNY: Demonstraatiot oppimisen tukena orgaanisen kemian yliopisto-opetuksessa

Diplomityö, 55 sivua

Toukokuu 2010

Pääaine: Kemia

Tarkastajat: professori Robert Franzén ja FM Sari Yrjänäinen

Avainsanat: oppiminen, opetus, demonstraatiot, orgaaninen kemia

Laadukkaassa opetuksessa on käytetyille suunnitelmille, toteutuksille ja muille opetukseen liittyville ratkaisuille oltava pedagogiset perusteet. Tämän työn lähtökohta on ollut etsiä pedagogiset perusteet yliopisto-opetuksessa käytettäville luento-demonstraatioille. Perusteita on etsitty kirjallisuudesta.

Diplomityön alkuosa keskittyy nykypäivän opetuksessa sovellettavien empirististen ja konstruktivististen oppimiskäsitysten ymmärtämiseen. Tarkastelun kohteena ovat myös sellaiset kemian yliopisto-opetuksessa käytettävät pedagogiset lähestymistavat, joita voidaan käyttää filosofiana demonstraatioiden taustalla.

Työn jälkiosassa perehdytään demonstraatioiden hyötyihin, suunnitteluun ja esittämiseen. Demonstraatioita voidaan käyttää monipuolisesti kemian oppimisen tukemisessa. Niiden avulla voidaan muun muassa tukea kemiallisen tiedon hankintaa ja käsitteen muodostamista, sekä kehittää korkeamman tason ajattelutaitoja. Lisäksi demonstraatiolla on motivoiva vaikutus.

Grignard-reaktiolla on suuri merkitys synteettisessä kemiassa. Sen vuoksi demonstraation tapausesimerkiksi valittiin Grignard-reaktio. Diplomityön lopussa esitellään aiheita Grignard-reaktion demonstroimiseksi orgaanisen kemian yliopisto-opetuksen eri vaiheissa.

Diplomityön pohjalta voidaan todeta, että demonstraatiot soveltuvat hyvin tukemaan kemian yliopisto-opetusta.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Materials chemistry

YLI-SISSALA, JENNY: Demonstrations as support of learning organic chemistry at university

Master of Science Thesis, 55 pages

May 2010

Major: Chemistry

Examiner: Professor Robert Franzén and MS Sari Yrjänäinen

Keywords: learning, teaching, demonstrations, organic chemistry

Teaching plans, implementations, and other education-related solutions must have pedagogical reasons in the field of high-quality education. The starting point of this work was to find pedagogical criteria used in demonstrations of university teaching. Criteria have been requested from the literature.

The first part of this thesis focuses on understanding of empiristic and constructivistic learning concepts of teaching chemistry more applicable. Pedagogical approaches for university education of chemistry have been examined. These approaches may also be used on philosophy behind the demonstrations.

The second part of this work is focused on the benefits, design and presentation of demonstrations. Demonstrations can be used for a wide range to support chemical learning. They can support, inter alia, the acquisition of chemical information and concept formation, and develop higher level thinking skills. In addition, demonstration has a motivating influence.

Grignard reaction has a great importance in synthetic chemistry. Therefore, it was selected as a demonstration case at the end of my work. The case shows that the reaction can be demonstrated differently at different stages of university education.

Based on this thesis can be stated that the demonstrations suits well to support university chemistry teaching.

ALKUSANAT

Diplomityöpaikkaa hakiessani olin kiinnostunut erityisesti syntetiikasta. Elämäntilanteessani synteessin suorittaminen ei kuitenkaan ollut mahdollista, joten iloinen yllätys oli, että saatoin syventää työssä pedagogista tietämystäni.

Työn aihe on ollut mielenkiintoinen. Olen saanut työtä tehdessäni laajentaa erityisesti opettajan pedagogisissa opinnoissa hankkimaani kasvatustieteellistä näkemystä ja uskon diplomityöstäni olevan minulle hyötyä tulevaisuudessa.

Erityiset kiitokseni esitän työni ohjaajille ja tarkastajille professori Robert Franzénille ja lehtori Sari Yrjänäiselle heidän mielenkiinnostaan työtäni kohtaan. Työn alkuosassa olen saanut tukea erityisesti Sari Yrjänäiseltä. Robert Franzénin kanssa olen sitä vastoin neuvotellut työn loppuosasta. Molemmilta olen saanut loistavia vinkkejä sekä kannustusta työn valmiiksi saattamiseksi. Jokainen viesti ja rakentava palaute on rohkaissut jatkamaan työn tekemistä.

Suuret kiitokset aviomiehelleni Miikalle ja lapsilleni Laurille ja Kirsille, joiden vuoksi olen jaksanut ja jotka ovat jaksaneet vuokseni. Perheenäidin pitkäjänteisen työn ovat lastenhoitoavullaan mahdollistaneet lasten tädit, enot, isovanhemmat ja isoisovanhemmat. Tarvittaessa apuna ja henkisenä tukena ovat olleet myös ystävät ja kummit. Kiitos teille!

Tampereella 20. huhtikuuta 2010,

Jenny Yli-Sissala

Mekaniikanpolku 20 C 39
33720 Tampere
050-413 5986

SISÄLLYS

Tiivistelmä	II
Abstract	III
Alkusanat	IV
1. Johdanto	1
2. Opetukseen ja oppimiseen liittyvät periaatteet ja lähtökohdat.....	3
2.1. Tampereen teknillisen yliopiston opetuksen kehittäminen	3
2.2. Mitä on oppiminen?	5
2.2.1. Behavioristinen oppimiskäsitys ja empiristinen tietokäsitys	6
2.2.2. Kognitiivinen oppimiskäsitys ja konstruktivismi	7
2.2.3. Oppimiskäsityksiä TTY:n Kemian ja biotekniikan laitoksella.....	11
2.3. Pedagogisia lähestymistapoja yliopisto-opetuksessa	12
2.3.1. Oppilaslähtöinen oppiminen ja opettajajohtoinen oppiminen	12
2.3.2. Yhteistoiminnallinen oppiminen.....	14
2.3.3. Tutkiva oppiminen.....	17
2.3.4. Ongelmaperustainen oppiminen	18
2.3.5. Kokeellisuus.....	21
2.3.6. Monipuolisten työtapojen merkitys	23
3. Demonstraatiot kemian opetuksessa	25
3.1. Motivaatio ja hyödyt	25
3.2. Demonstraatiot oppimisen tukena.....	27
3.2.1. Kemian tiedon hankinta	28
3.2.2. Käsitteen muodostaminen.....	29
3.2.3. Luova ja kriittinen ajattelu, sekä ongelmanratkaisukyky	31
3.3. Demonstraation suunnittelu	32
3.3.1. Suunnittelun lähtökohtia	32
3.3.2. Opiskelijoiden ennakkokäsitykset lähtökohtana.....	33
3.3.3. Demonstraation esittäjä.....	35
3.3.4. Ympäristökemia ja mikromittakaava yliopisto-opetuksessa	36
3.3.5. Demonstraatio digitaalisena oppimateriaalina.....	38
3.4. Näytön paikka	39
3.4.1. Demonstraatio luento-opetuksessa	40
3.4.2. Erilaisia lähestymistapoja ja hiljainen esitystapa.....	41
3.4.3. Demonstraation johtopäätökset, kokoaminen ja arviointi	43
3.5. Demonstraatio TTY:n orgaanisen kemian opetuksessa	44
3.5.1. Orgaanisen kemian opintojaksot.....	44
3.5.2. Grignard-reaktio opetuksen polttopisteessä.....	46
3.5.3. Aihe-ehdotuksia Grignard-reaktion demonstraatioille	48
4. Päätelmät.....	49
Lähdeluettelo.....	50

1. JOHDANTO

Aiemmin työelämässä on menestynyt yksilö, joka on tiennyt omaan erityisalaansa liittyvistä asioista mahdollisimman paljon. Nykypäivän ja tulevaisuuden työelämässä menestyy henkilö, jota kuvaa sana joustava (1). Muiden merkitystensä rinnalla joustavuus sisältää ajatuksen siitä, että työntekijällä tulee olla kykyä ja halua jatkuvaan koulutukseen. Koulutuksen ja oppimisen kannalta yhteiskunnan muuttumisessa merkittävintä on ollut tiedon määrän räjähdysmäinen kasvu ja teknologian nopea kehitys. Kukaan ei voi enää sanoa tietävänsä kaikkea, eikä elämässä menesty muistamalla ja tietämällä asioita. Yksinkertaisesti sanottuna kasvava tietomäärä ei enää ole ihmisen hallittavissa perinteisessä mielessä.

Työntekijällä onkin oltava tiedonhankinnan, tiedon käsittelyn ja tiedon käyttämisen taitoja (2), sillä tietoa on osattava hakea ja yhdistellä eri lähteistä, tiedon totuudenmukaisuutta on osattava arvioida kriittisesti ja tiedosta on osattava tehdä johtopäätöksiä (3). Entistä tärkeämpää on ymmärtää tiedon rakentumisen luonne ja sen pätevyys. Tarkoitus ei edes ole muistaa ulkoa, vaan kyetä soveltamaan tietoa. Opetuksen haasteena on löytää keinoja koulutuksen ja työelämän lähentämiseksi.

Tampereen teknillisellä yliopistolla (TTY) on useita tutkimuksen huippuyksiköitä. TTY ja kemian laitos sen osana tarjoavat tekniikan korkeinta akateemista opetusta ja tutkimusta. Opetuksessa tutkimuksen ja tutkijakoulutuksen on tarkoitus näkyä jo opintojen varhaisessa vaiheessa. Kemian tutkimuksessa ja opetuksessa tarkastellaan aineiden rakenteita, ominaisuuksia ja ilmiöitä (4). Monipuoliset ja luovat luonnontieteelliset ajattelutaidot sekä ongelmanratkaisun menetelmät ovat tavoitteena jokaisen kemiaa opiskelleen henkilön kyvyiksi.

Laadukkaassa opetuksessa tulee opetuksessa käytetyille suunnitelmille, toteutuksille ja muille opetukseen liittyville ratkaisuille olla pedagogiset perusteet. Tämän työn lähtökohta on etsiä pedagogiset perusteet yliopisto-opetuksessa käytettäville demonstraatioille. Tutkimuksia demonstraatio-opetuksesta osana peruskoulun ja lukion opetusta on tehty enemmän kuin demonstraatioista yliopisto-opetuksessa. Useimmissa peruskoulu- ja lukio-tason kemian opetusta koskevissa tutkimuksissa demonstraatiot jäävät muun kokeellisuuden varjoon.

Kemian tutkimuksessa empirialla on merkittävä osa. Voidaan jopa sanoa, että ilman kokeellisuutta kemiaa ei ole olemassa elävänä tieteenä(5). Opetuksessa empiria tarkoittaa nojautumista kokeellisesti hankittuun tietoon. Yliopisto-opetuksessa kokeellisuutta voidaan harjoittaa demonstraatioina, laboratoriotöinä, opintokäynteinä tai projekteina. Kokeellisuus voi olla myös kerronnan avulla tai audio-visuaalisten välineiden kautta tapahtuvaa esitystä.

Laadukasta, ammatilliseen pätevyyteen tähtäävää yliopisto-opetusta varten on tunnettava yliopisto-oppimista ja oppimiseen vaikuttavia tekijöitä. Niin oppimiseen kuin opettamiseenkin vaikuttavat oppimiskäsitykset (6). Vastoin behavioristista näkemystä oppijasta passiivisena tiedonvastaanottajana, konstruktivismi korostaa oppijan aktiivista roolia tiedonkäsittelijänä. Konstruktivismissa oppiminen rakennetaan, ennakkokäsitysten pohjalta. Näin ollen tieto ei ole koskaan välitettävissä sellaisenaan toiselle. Oppimiskäsityksen toteuttaminen käytännössä vaatii ammattitaitoa.

Opetuksella tähdätään kasvattamaan opiskelijan tietoa ja ymmärtämystä jostakin asiasta (7). Onnistuneesti valituilla työtavoilla edistetään tavoitteiden mukaista opiskelua ja oppimista (8). Työtavat ovatkin välineitä, joilla ponnistellaan opetussuunnitelmassa määriteltuihin tavoitteisiin. Tässä työssä keskitytään kemian kokeellisuuden työtapoihin. Työn aluksi tarkastellaan mitä yliopisto-oppiminen on ja minkälaisia lähestymistapoja voidaan hyödyntää kemian yliopisto-opetuksessa, sittemmin perustellaan demonstraatioiden käyttöä työtapana yliopistossa.

2. OPETUKSEEN JA OPPIMISEEN LIITTYVÄT PERIAATTEET JA LÄHTÖKOHDAT

Yliopistokontekstissa tapahtuva oppiminen, opetus, arviointi ja pedagoginen johtaminen ovat yliopistossa tapahtuvaa pedagogista toimintaa (9). Yliopisto-pedagogiikan tutkimuksen kohteena ovat yliopistossa tapahtuvat pedagogiset toiminnot sekä niiden laatu ja oppimisympäristöt. Tässä luvussa tarkoitus on tutustua erilaisten oppimiskäsitysten taustalla olevaan filosofiaan ja tarkastella oppimiskäsitysten vaikutusta oppimiseen. Samoin etsitään lähestymistapoja, joilla kemiaa voidaan opettaa yliopistossa mielekkäästi. Erityisesti keskitytään monipuolisiin kokeellisiin työtapoihin.

2.1. Tampereen teknillisen yliopiston opetuksen kehittäminen

Yliopistolaki velvoittaa Tampereen teknillisen yliopiston toteuttamaan vapaata tutkimusta, tarjoamaan tutkimukseen perustuvaa ylintä opetusta sekä edistämään tieteellisen ja taiteellisen sivistyksen yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Opiskelun lomassa opiskelijoiden toivotaan saavan kasvatusta isänmaan ja ihmiskunnan palvelijoiksi, sekä eväitä elinikäisen oppimisen edistämiseksi (10).

TTY antaa tutkintotavoitteista koulutusta, avointa yliopistokoulutusta sekä täydennyskoulutusta. Tutkintotavoitteisen opetuksen kehittämistä varten TTY:llä on koulutuksen kehittämisohjelma. Ohjelman tavoitteena on kehittää TTY:tä oppimisympäristönä mahdollisimman laadukkaaksi ja sujuvan opiskelun takaamiseksi. Tämän hetkinen suunnitelma on tehty vuosille 2009–2015. Kehittämisohjelman tavoitteiksi on määritelty neljä tärkeää osaa (11):

1. opiskelun sujuvoittaminen ja opiskelutaitojen tukeminen,
2. opiskelijoiden henkisen kasvun ja tieteellisen ajattelun tukeminen,
3. opettajien ammatillisen kehittymisen edistäminen, sekä
4. koulutuksen johtamisen vahvistaminen.

Kehittämisohjelman tavoitteena on taata opetuksessa käytetyille suunnitelmille, toteutuksille ja muille opetukseen liittyville ratkaisuille pedagogiset perusteet. Monipuolisia työtapoja, vaihtoehtoisia suoritustapoja sekä tieto- ja viestintätekniikkaa on tarkoitus hyödyntää opetuksessa entistä paremmin. Opiskelijoita haastetaan erilaisten opiskeluun liittyvien taitojen kehittämiseen ja niiden merkityksen pohtimiseen myös ammattiosaamisen näkökulmasta. Näitä taitoja ovat esimerkiksi ajanhallinta,

tiedonhaku, lukutekniikka, lasku- ja päättelytaidot sekä vuorovaikutustaidot. Tavoitteena on tukea opiskelijoiden omatoimisuutta ja opiskelutaitojen kehittymistä.

Ihanteellinen yliopisto-opetus perustuu tutkimukseen ja tutkimuksen tuottaman uusimman informaation välittämiseen opiskelijoiden opittavaksi (12). Hyvää opetusyliopistoa ei ole, jollei se ole hyvä myös tutkimuksessa (13). TTY:n koulutuksen kehittämisohjelman kanta onkin, että opetuksella tulee olla kiinteä yhteys tieteelliseen toimintaan siten, että tutkimustieto on sisäänrakennettu yliopisto-opetukseen. Tutkimukseen perustuvalla opetuksella tähdätään opiskelijoiden oman alan asiantuntijuuden sekä elinikäisen oppimisen taitojen kehittymiseen. Samalla opiskelijat tulevat tutuiksi tutkimukseen liittyvien käsitteiden ja tutkimuseettisten perusteiden kanssa. Tutkimuksen ja opetuksen välillä vallitsee kiinteä yhteys, jonka leikkauksesta käytetään nimitystä oppimisprosessien ohjaus (14).

Toisaalta tutkimisen ja opettamisen välillä vallitsee myös kilpailu. Tutkimusintensiivisessä ympäristössä yliopisto-opettajat mielletään usein ensisijaisesti tutkijoiksi ja oman alansa asiantuntijoiksi (9; 15). Lyhyellä tähtämellä urallaan etenevien tutkijaopettajien onkin panostettava julkaisemiseen, sillä tulosoikeuden nimissä julkaisuja pitää tehdä. Tältä kannalta katsottuna tutkijaopettajien ei ole järkevää keskittyä opetukseen - opetuksen suunnitteluun ja toteutukseen käytetty aika on pois julkaisutyöstä (13).

Opetustyön vähäinen arvostus on aiemmin näkynyt virantäytöissä. Virkaan on todennäköisimmin päässyt henkilö, joka on menestynyt tutkijana. Tällöin hyvästä tutkijasta on tullut opettajatutkija - ei suinkaan opettajakoulutuksen, vaan tutkijakoulutuksen kautta. Onkin näyttänyt siltä, että tutkijana toimiminen on sinällään ollut riittävä näyttö myös yliopistopedagogiikan taitamiselle. Nyt, kun opetuksen laadun kehittäminen on nostettu yliopiston yhdeksi kehitysalueeksi, on opetusansioden merkitys tullut tärkeämmäksi myös virantäytöissä. Virkaa hakevan on tehtävä opetusportfolio, jossa on näyttöä opetustaidoista. Kiinnostus opettajan pedagogisia opintoja kohtaan onkin kasvanut. TTY tukee opettajiensa pedagogiseen koulutukseen hakeutumista. Yliopiston opettajilla on mahdollisuus suorittaa 60 opintopisteen laajuiset yliopistopedagogiikan opinnot ja saada samalla laaja-alainen opettajan pedagoginen kelpoisuus. Yliopistopedagoginen koulutus tarjoaa opettajille välineitä hyvää opetusta varten (12). Yliopistopedagogisen koulutuksen haaste on nostaa opetustyön arvostus tutkimustyön arvostuksen rinnalle (16).

Yliopisto-opetuksen kehittämiseen muutoinkin on viime vuosina panostettu aiempaa enemmän. Tampereen teknillisen yliopiston laaja-alaiset opinnot takaavat valmistuneelle opiskelijalle valmiudet tieteellisesti ja ammatillisesti haastaviin asiantuntijatehtäviin ja pätevyyden jatkotutkinto-opintoihin (11).

2.2. Mitä on oppiminen?

Voimme määritellä oppimisen aivosolujen toiminnaksi (17) tai joksikin sellaiseksi toiminnaksi, jota oppija ei entuudestaan osaa tehdä (3). Tavoittelemisen arvoista on saada oppimisesta kokemus, joka parhaimmillaan tuottaa iloa ja nautinnon tunnetta ilman minkäänlaisia ulkoisia palkkioita tai tavoitteita (17; 18).

Oppimiseen liittyvistä arkikäsitteiksi on kerätty tietoa lukuisia kertoja (6; 19). Arkikäsitteistämme oppimisesta vaikuttavat opiskelumme ja oppimiseemme arkielämässä. Arkielämän oppimiskäsitteet voidaan jakaa moniin luokkiin ja useammalla eri tavalla. Haastatteluvastauksista on löydettävissä kaksi pääryhmää, jotka jaottelun jälkeen on nimetty toistamiseksi ja ajattelua kehittäväksi transformaatioksi. Toistamiseen kuuluu tiedon lisääntyminen, muistaminen ja soveltaminen. Kemiassa yksinkertaisimpia muistettavia asioita ovat esimerkiksi suureiden tunnuksot ja yksiköt, sekä alkuaineiden kemialliset merkit ja kaavat (20). Transformaatiolla tarkoitetaan kehitystä tai muutosta oppijan ajattelussa tai toiminnassa. Siihen kuuluu asioiden ymmärtäminen, ajattelun muuttuminen ja itse ihmisenä muuttuminen (6). Yksittäisen ihmisen käsitys oppimisesta on usein tilanneriippuvainen ja saattaa sisältää ajatuksia kummastakin pääryhmästä.

Yksilöllisesti tarkasteltuna oppimiskäsitteet ovat monimutkainen ilmiö, sillä ne vaihtelevat oppimistilanteen, opiskeltavan aineen ja sisällön mukaan (16). Arkielämän oppimiskäsitteissä

- esimerkin matkiminen
- asian mieleen painaminen ja soveltaminen
- oppijan aktiivinen ajattelutoiminta ja
- yleisen, objektiivisen tiedon hallinta tietävänä yksilönä

johtavat suoraan oppimiseen (6). Tyypillisimmillään oppimisen katsotaan olevan vain faktojen mieleen painamista, eikä esimerkiksi asioiden merkitysten ymmärtämistä. Huomattavaa on, että asioiden merkitysten ymmärtäminen voi toisaalta sisältää myös ajatuksen faktojen ulkoa muistamisesta (19).

Arkikäsitteisiin perustuvaa opettamista voidaan kutsua kansanpedagogiikaksi. Oppimiskäsitteiden toteuttaminen käytännössä vaatii opettajalta ammattitaitoa. Yliopisto-opetuksessa on tärkeää, että arkikäsitteet voidaan rikastaa tieteellisellä tutkimustiedolla ja että omia opetus- ja opiskelukokemuksia analysoidaan tutkitun tiedon näkökulmasta (16). Opetuksen keskeinen idea on se, että opiskelijan tieto ja ymmärtämys jostakin asiasta kasvavat (7).

Oppimisteoriat mahdollistavat oppimisen periaatteiden käsitteellistämisen ja jäsentämisen. Teoriat sellaisenaan eivät ole ratkaisevia, koska ne kuitenkin täytyy ensin itse sisäistää, käsitellä ja tulkita oman ymmärtämisen kielellä. Jokaisen teorian sisältö riippuukin siis tulkitsijasta (2). On huomattu, että myös käytännön opetustyössä muovautuviin oppimiskäsitteisiin vaikuttavat opettajan henkilökohtaisten käsitysten (mm. oppiaineesta, opettamisesta ja oppimisesta) lisäksi useat tekijät. Yleiset käsitteet tiedon ja psyykkisten prosessien luonteesta, yhteiskunnalliset opetukselle ja

koulutukselle asetetut normit, sekä oppimista koskevan tutkimuksen teoriat ja tulkintaperinteet ohjaavat sitä, kuinka opettaja kokee ja tulkitsee oppimistilanteet (21).

Oppimisesta ei olekaan olemassa yhtä oikeaa teoriaa tai käsitystä. Niinpä oppimisteorioita on luotu useita. Samalla tavoin kuin arkikäsitykset oppimisesta, eivät tieteellisetkään teoriat oppimisesta välttämättä ole ristiriitaisia keskenään. Pikemminkin ne voidaan nähdä erilaisina näkökulmina oppimisen ilmiöön. Nykyisinkin vallalla olevien käsitysten mukaisesti oppimiskäsityksiä voidaan luokitella esimerkiksi empiristis-behavioristisiin, kognitiivis-konstruktivisiin, humanistisiin ja uusmarxilaisiin oppimiskäsityksiin. Niissä voidaan lisäksi nähdä useita suuntauksia ja painotuksia (22). Empirismi ja konstruktivismi ovat käytännössä muotoutuneet kahdeksi ääripääksi. Suomessa myös humanismilla on poikkeuksellisen paljon kannatusta (19).

Käsitys oppimisesta ohjaa niin oppimistamme kuin opettamistammekin (6). Jotta voidaan vaikuttaa opiskelun laatuun ja kasvattaa opiskelijoista oman alansa ammattilaisia, on tunnettava yliopisto-oppimista ja -oppimiseen vaikuttavia tekijöitä. Yliopisto-opettajien samanaikainen etu sekä haitta on se, että heillä on kokemusta, sekä opiskelusta, että opettamisesta (16).

2.2.1. Behavioristinen oppimiskäsitys ja empiristinen tietokäsitys

Behavioristinen käsitys oppimisesta kehittyi 1900-luvun alussa ja oli vallitseva suuntaus tutkimustoiminnassa aina 1970-luvulle saakka (2; 8). Tuolla välillä tavoitteena oli löytää yleinen ja yksi ainoa malli oppimiselle. Toivottiin, että oppiminen voitaisiin vähitellen ymmärtää ärsyke-reaktioketjujen pohjalta. Ärsykkeillä tarkoitetaan kysymyksiä, joiden tavoitteina on reaktioita eli vastauksia (19; 23). Oppimiskäsityksen nimi juontaa juurensa englanninkielisestä sanasta behaviour, joka tarkoittaa käyttäytymistä (24).

Behavioristinen oppimiskäsitys nojaa empiristiseen tietokäsitykseen. Empiristisen tietokäsityksen mukaan tieto rakennetaan kokemuksen ja aistihavaintojen pohjalta (8; 23). Empirismin mukaan todellisuus eli maailma on ihmismielestä erillinen (6; 19).

Behavioristisen oppimiskäsityksen mukaan opiskelija oppii oppimisprosessissa, joka alkaa ärsykkeellä (kuvio 1.). Ärsykkeenä voi toimia esimerkiksi opettajan kysymys. Opettajan tehtäväksi jää tässä prosessissa tarkistaa oppiminen opiskelijan ulkoisen käyttäytymisen perusteella, eli käytännössä varmistaa opiskelijan vastauksen oikeellisuus.

ympäristö → ärsyke → yksilö → reaktio → palaute (= uusi ärsyke) → reaktio

Kuvio 1. Behavioristisen oppimisteorian mukainen oppimisprosessi alkaa ympäristön aiheuttamasta ärsykkeestä (24).

Behaviorismin mukaan on hyödytöntä tutkia aivoissa tapahtuvan informaation käsittelyä, koska tapahtumasta ei voida tehdä suoria havaintoja. Behaviorismi tarkasteleekin oppimista puhtaasti ulkoisen käyttäytymisen perusteella, sillä voidaanhan

ihmisen toiminnassa ja käyttäytymisessä tapahtuvia ulkoisia muutoksia sekä havainnoida että mitata. Käytännön tutkimuksissa tämä on tarkoittanut sitä, että on etsitty oppimisen taustatekijöiden ja oppimistulosten, eli ärsykkeiden ja reaktion välille riippuvuuksia.

Behavioristisessa oppimistapahtumassa oppija on ennalta määrätyn informaation vastaanottaja, jolla itsellään ei ole vastuuta omasta oppimisestaan. Tieto on arvoa itsessään ja opetus perustuu nimenomaan yritykseen siirtää informaatiota (25). Käytännössä behavioristisen oppimiskäsityksen soveltaminen opetuksessa nostaakin opettajan avainasemaan (8; 2; 19; 23). Opettaja siirtää etukäteen kirjatun ja yksityiskohtaisen opetussuunnitelman edellyttämät tiedot ja taidot opiskelijalle kontrolloidusti. Opettajan on tarkoitus opettaa selkeästi, tarjoilla opittavaa ainesta pienissä paloissa ja jättää aikaa harjoitukselle. Oppijan oppiminen paljastuu ulkoisen käyttäytymisen muutoksena ja vakiintumisena ja oppimista voidaan vahvistaa palkitsemalla ja heikentää rankaisemalla.

Behaviorismissa ajatellaan oppimisen etenevän hierarkkisesti alhaalta ylöspäin. Myöhemmin pienemmät tiedonosaset yhdistetään laajempiin kokonaisuuksiin. Koulutuksessa jokainen opintojakso muodostaa erillisen valmiin tieto- tai taitokokonaisuuden. Valitettavasti opiskelijoiden oppimisen hallinta tällaisissa oppimisympäristöissä saattaa kuitenkin olla enemmänkin illuusiota hallinnasta kuin todellista hallintaa.

Behaviorismissa oppija sortuu helposti tiedon ulkoa opetteluun ja oppimisesta tulee pinnallista. Vääriä vastauksia syntyy, kun oppija ei muistakaan tarkasti asiaa. Oppimistulosten arviointi tapahtuu yleensä tentti-, koe- tai testituloksina määrällisesti mitaten, sillä tärkeimmäksi katsotaan oppimisen tulos eli produkti (6).

Yliopistojen oppimis- ja opetuskäytänteissä vallitsee usein behavioristinen oppimiskäsitys. Perusopinnoissa behaviorismi näkyy erityisesti tiedon omaksumisen ja perustietojen pönttämisenä. Opetustavat keskittyvät informaation jakamiseen ja oppimisen arviointi perustuu tentteihin, jotka mittaavat tiedon omaksumisen. Monet behaviorismia soveltavista opettajista eivät edes tiedä käyttämänsä opetustavan teoreettista taustaa. Behaviorismi näyttää kaikessa selkeydessään varsin loogiselta ja johdonmukaiselta, joten ei ole ihme, että se on levinnyt laajaan käyttöön ilman kyseenalaistuksia (7). Behaviorismi ei kuitenkaan vastaa nykyisiä käsityksiä siitä, kuinka oppiminen tapahtuu ja kuinka opetus tulisi järjestää.

2.2.2. Kognitiivinen oppimiskäsitys ja konstruktivismi

Behavioristinen suuntaus oppimisen tutkimuksessa vallitsi aina 1950- ja 1960- lukujen taitteeseen saakka (6). Tuolloin behaviorismia kohtaan alkoi nousta paljon kritiikkiä. Ymmärrettiin, että tieto ei siirry, vaan oppija rakentaa sen ainakin osittain itse. Haluttiin, että oppijat ymmärtävät asioita, eivätkä vain muista ulkoa (26). Suurinta kritiikkiä osoitettiin kuitenkin oppimisen mittaamiseen. Todettiin, ettei oppimisessa tapahtuvaa kokemusten muutosta voi aina havaita käyttäytymisen muutoksena (2; 17). Koska opiskelijan halutaan ymmärtävän käsiteltävänä olevia asioita laajemmin, ei

kokonaiskuvaava osaamisesta voi saada yksittäisen tiedon ulkoisen suorituksen mittaamisella. Konstruktivismin aikaisissa vaiheissa perinteisiä keinoja opettaa ja oppia alettiin pitää väärinä ja kuviteltiin, että konstruktivismin avulla oppijat saadaan helposti oppimaan asioita. Tällainen käsitys on itse asiassa helppo saavuttaa nykyisinkin. Behaviorismi ei kuitenkaan tarkoita samaa kuin ei-konstruktivismi.

Kognitiivisen psykologian kehityksen myötä kasvatustieteissä ja käytännön opetustilanteissa alettiin soveltaa ns. kognitiivista oppimiskäsitystä (23). Kognitiotiede on viime vuosisatamme loppupuolen monitieteinen tutkimuksen alue. Se tutkii mielen, tajunnan, tietämisen, oppimisen, oivaltamisen ja ymmärtämisen ilmiöitä niin ihmisillä, koneilla kuin eläimilläkin. Kognitiivisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen koostuu kognitiivisista prosesseista. Kognitiivisia prosesseja ovat havaitseminen, muistaminen, ajatteleva ja päätöksenteko (8).

Kognitiivinen tutkimus tukee käsitystä ihmisen oppimisesta tiedon prosessointina. Esimerkiksi Jean Piaget'n (1896–1980) näkemys ihmisen kognitiivisesta kehityksestä eteneekin laadultaan alkeellisesta, konkreettisen ajattelun vaiheesta asteittain kohti abstraktia, käsitteellistä ajattelua (24).

Merkittävä muutos behavioristisen ja kognitiivisen suunnan välillä on se, että vastuu oppimisesta siirtyy oppijalle (7). Kognitiivinen oppimiskäsitys lähtee ihmisen intentioista, aktiivisista aikomuksista oppia. Ihminen kerää valikoiden aistihavaintoja liittäen näitä edelleen valikoiden aikaisempiin tietoihin ja elämyksiinsä, skeemoihin. Skeemat ovat vallitsevien tietojen ja toimintojen muodostamia rakenneyksiköitä. Skeemoista ja uusista asioista ja tiedoista oppija muodostaa assimilaatiolla metakognitioita, jotka ovat toisen asteen tiedon rakenteita. Akkommodaatiossa skeemat mukautuvat paremmin uutta tilannetta vastaavaksi. Kognitiivisen oppimiskäsityksen mukaiset opetustilanteet aktivoivat oppijaa itse jäsentämään ja prosessoimaan tietoa. Oppija luo oman oppimismenetelmänsä, eli oppii oppimaan (17; 24).

Engeströmin kognitiiviseen oppimisenäkemykseen perustuvassa täydellisen oppimisen mallissa oppimisprosessi koostuu viidestä osasta. Oppimisprosessi käynnistetään opiskelijan ajattelua ja motivaatiota herättelevällä tehtävällä, eli esimerkillä tai kysymyksellä. Seuraavaksi asiaan orientoitutaan opettajan auttaessa opiskelijaa hahmottamaan omia sisäisiä ajattelu- ja toimintamalleja opittavasta asiasta. Kolmannessa vaiheessa sisäistetään opittava asia, joko itsenäisesti, yhdessä muiden kanssa asiaan perehtyen tai opettajan luentoa kuunnellen. Neljännessä vaiheessa asia ulkoistetaan, eli sovelletaan opittua asiaa käytännössä esimerkiksi harjoittelemalla tai ratkaisemalla ongelmia. Viimeisessä vaiheessa arvioidaan osaamista (24).

Kognitiotiede ja erityisesti Miller (1956) toi mukanaan tietoa ihmisen muistin toiminnasta. Ihmisen kyky käsitellä havaintoyksiköitä havaitsemistilanteessa on rajallinen. Havaintoyksiköiden muistamiseen vaikuttaa erityisesti henkilön aiempi tietopohja. Asiantuntija kykenee vankan tietopohjansa avulla muistamaan laajoja ja monimutkaisia asiakokonaisuuksia, mutta vasta-alkajalle voi riittää yksikin käsite, joka on täysin uusi. Tavallisesti aikuinen ihminen kykenee muistamaan noin seitsemän havaintoyksikköä, vaihtelun ollessa kuudesta kahdeksaan yksikköä. Millerin

muistitutkimuksissa erotettiin myös säilömuisti ja työmuisti. Työmuisti on lyhytaikainen nykyhetken muisti, jossa ajattelemme, ymmärrämme ja ratkaisemme ongelmia. Säilömuisti taas sisältää kaiken muun, aiemmin koetun ja muistot (24; 26).

Kognitiivisissa oppimisen teorioissa tunteiden ja oppimisympäristöjen merkitys on jäänyt vähälle huomiolle. Ihmiseen on keskitytty tietoa prosessoivana ja ajattelevana olentona, irrallisena aidosta oppimiskontekstista. Konstruktivismi onkin rakentunut osittain kognitiivisen psykologian päälle ja yrittää korjata tätä puutetta. Konstruktivismissa ihmistä pidetään aktiivisena tutkijana ja tiedon etsijänä, mutta myös itsenäisenä ja omaleimaisena persoonana. Sana konstruktivismi tulee verbistä konstruoida, eli rakentaa (7). Suomeen konstruktivismi rantautui 1980-luvun alussa ja on nykyisin yleisesti hyväksytty oppimisen selittämisen lähestymistapa (2; 20).

Konstruktivismi on itse asiassa joukko oppimisteorioita, jotka perustuvat yhteisiin filosofis-teoreettisiin lähtökohtiin - konstruktiiiviseen tieteen teoriaan ja informaation prosessointimalliin. Yksinkertaistettuna informaation prosessointimallin mukaan ihminen vastaanottaa, valikoi, käsittelee ja tuottaa informaatiota tavoitteellisesti ja aktiivisesti, korostaen koko ajan tiedon konstruointia. Oppijalla on oma merkityksensä ja roolinsa tietämisen, osaamisen ja ymmärtämisen rakentumisessa.

Konstruktivismin monet muodot voidaan erotella kahteen pääryhmään; yksilökonstruktivismiin ja sosiaaliseen konstruktivismiin. Tietyissä lähteissä käytetään myös nimitystä sosiaalinen konstruktionismi. Yksilökonstruktivismi on nimensä mukaisesti ollut kiinnostunut yksilöllisen tiedon muodostuksen, kognitiivisten rakenteiden ja mentaalisten mallien kuvaamisesta. Sosiaalisen konstruktivismin teoriat ovat vuorostaan painottaneet oppimisen yhteisöllistä ja kulttuurisidonnaista luonnetta ja ovat keskittyneet tutkimaan oppimisessa vuorovaikutusta, dialogisuutta ja yhteistoiminnallista oppimista (8; 27). Suuntauksista riippumatta konstruktivismilla on monia yhteisiä piirteitä. Konstruktivismissa oppiminen nähdään perusluonteeltaan opiskelijan omana syklisenä prosessina - aktiivisena konstruointina, tietojen tarkentamisena ja uudelleenmuotoiluna. Oppiminen tapahtuu asioiden sisäistämisen kautta, opiskelijan oman aktiivisen ja tavoitteellisen toiminnan seurauksena. Oppiminen on aktiivista kognitiivista toimintaa – aktiivista ymmärryksen, merkitysten, tiedon ja taitojen konstruointia, jossa tulkitaan havaintoja ja uutta tietoa entisen tiedon ja kokemuksen pohjalta.

Konstruktivismissa oppimisen tutkiminen keskittyy ihmisten kognitiivisiin prosesseihin (6) - oppijoiden käsitysten ja ajattelun tuntemiseen (20). Keskiössä ovat muun muassa oppimisprosessi, oppimisstrategiat ja kognitiivisten rakenteiden kehittyminen. Kuten humanismissa, oppija nähdään uteliaana ja päämäärätietoisena yksilönä. Humanistinen opettaja luo luokkaan ilmapiirin, jossa oppijoiden tarpeet otetaan huomioon. Jokainen oppija saa tuntea olevansa arvokas persoona. Tavoitteena on oppijoiden sisäisen oppimishalun herättäminen (2; 8).

Oppiminen riippuu ratkaisevasti myös oppimisympäristöstä ja tiedon luonteesta. On merkitystä sillä, mitä opiskelija haluaa oppia, sillä oppimista ei voi tapahtua, jos oppija ei itse halua oppia. Kun opetussuunnitelmista löytyvät vain pääsisällöt ja ongelma-

alueiden määrittely, opettajalla on edellytykset muokata sisältöjä opiskelijoiden kannalta mielekkäiksi. Opettajan tehtävä painottuu oppimisympäristön järjestelyyn ja arviointiin. Oppimisen halu on osa itseohjautuvuutta. Itseohjautuvuuteen kuuluu lisäksi oman oppimisen suunnittelun osaamista. Kun oppija osaa suunnitella oppimistaan, kykenee hän kontrolloimaan oppimisprosessiaan ja ymmärtämään ja arvioimaan oppimistaan kokonaisuutena. Itseohjautuvuuden kehittyessä oppija tulee entistä riippumattommaksi opetuksesta. Itseohjautuva oppimisen suunnittelu edellyttää oppimisen tarkoituksen muotoilemista ja tietoisien tavoitteiden saavuttamiseen suuntautumista. Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta opettajan muodostamia tavoitteita ja päämääriä. Opettaja voi kuitenkin kartoittaa opiskelijan tavoitteita ja päämääriä esimerkiksi ennakkojäsentäjien tai käsittekarttojen avulla. Toimintaa ohjaa sen tavoite, ja tavoitetta ohjaavat oppimisen kriteerit, mutta oppimista säätelee se, mitä oppija tekee (25).

Konstruktivismissa tärkeimpinä pidetään oppijan ennakkokäsityksiä ja aikaisempia kokemuksia, informaation ja tiedon luonnetta ja oppimisen kontekstia. Tieto ei ole koskaan sellaisenaan välitettävissä toiselle. Konstruktivismi kiistää siten objektiivisen tiedon olemassaolon (7). Konstruktivismin mukaan opettajan tulee olla tietoinen opiskelijoiden valmiuksista ja ennakkokäsityksistä siksi, että uutta tietoa omaksutaan aiemmin opittua käyttämällä. Opiskelijat tuovat opetustilanteisiin omiin kokemuksiinsa perustuvat käsitykset, jotka voivat vielä yliopistossakin olla ristiriitaisia vallalla oleviin tieteellisiin tietoihin nähden. Korostettakoon, että oppiminen perustuu aina aikaisempiin kokemuksiin, tietorakenteisiin ja taitoihin. Ennakkokäsityksiin palataan myöhemmin tarkasteltaessa ennakkokäsitysten vaikutusta demonstraation suunnitteluun, mutta myös käsitteiden muodostamisen yhteydessä.

Oppimista pidetään aina kontekstisidonnaisena. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että siirtovaikutuksen aikaansaamiseksi tarvitaan opittavan asian ilmentämistä moniin muotoihin. Opitun siirtovaikutus uusiin tilanteisiin riippuu tietojen ja taitojen organisoitumisesta.

Konstruktivismissa hyvä oppiminen edellyttää tietoisuutta omasta tavasta oppia. Oppimiselle suotuisassa oppimisympäristössä opiskelija saa mahdollisuuden kehittää omia valmiuksiaan oppia oppimaan. Tavoitteellinen oppiminen on taito, jota voi oppia. Oppimaan oppimisen taitoja kutsutaan metakognitiivisiksi taidoiksi, joita ovat esimerkiksi suunnittelu, oppimisen ohjaaminen, prosessin korjaaminen ja arvioiminen. Oppimaan oppimisen on todettu parantavan oppimistuloksia. Oleellista on opiskelijan oma aktiivinen rooli ja oppimisen ohjaaminen, jota kutsutaan myös tutoroinniksi. Opettaja on oppilaan tutkimusprosessin vauhdittaja ja kannustaja. Oppijalla on vastuu omasta tiedonrakentumisprosessistaan opettajan edistäessä, auttaessa ja tukiessa tätä prosessia (2; 8; 25; 28).

Lukiossa ja peruskoulussa tehokas opettaminen on optimaalisten oppimisympäristöjen luomista sekä positiivisen oppimishalun virittämistä ja säilyttämistä pedagogiikan keinoin (22). Tämä sopii myös yliopisto-opetukseen - opettajan rooli on olla opiskelun ohjaaja ja oppimisympäristön suunnittelija.

2.2.3. Oppimiskäsityksiä TTY:n Kemian ja biotekniikan laitoksella

Anna Kaksonen ja Pauliina Nurmi ovat tutkineet vuonna 2008 kemian ja biotekniikanlaitoksen opetukseen osallistuvien oppimiskäsityksiä. Tuolloin laitoksella toimi 31 henkilöä opetustehtävissä. Näistä henkilöistä 19 vastasi tutkimuksen ensimmäiseen osaan, joka lähetettiin sähköpostilla. Kaikkiaan kyselyyn vastasi 61 % laitoksen opetukseen osallistuvista henkilöistä. Neljästätoista professorista ja lehtorista kyselyyn vastasi 11. Loput vastanneista olivat tutkijoita ja assistentteja, jotka osallistuvat satunnaisesti opetukseen. Heidän vastausprosenttinsa olikin huomattavasti pienempi. Koska tutkijat ja assistentit osallistuvat opetukseen tutkimustyönsä rajaamissa puitteissa, voidaan ymmärtää heidän oletaneen kyselyn kuluneen vain opetuksen avainhenkilöille ja jättäneen siksi vastaamatta (29).

Tutkimuksen ensimmäisessä kysymyksessä haluttiin tietää opettajien näkemys siitä mitä oppiminen tarkoittaa ja miten ihminen oppii parhaiten. Laajan kysymyksen vuoksi myös vastaukset olivat moninaisia. Havainnot oppimiskäsityksistä olivat positiivisia. Niistä heijastui sekä humanistisia, että konstruktivistisia piirteitä. Muutama jopa vastasi oppimisen olevan tietorakenteen muuttumista. Yleisimmin vastauksista korostui opiskelijan aktiivinen rooli ja opiskelijan vastuu omasta oppimisestaan, ymmärtävä oppiminen sekä motivaation merkitys. Keskeisiksi tavoitteiksi kirjattiin opiskelijoiden ymmärtävä oppiminen, kyky soveltaa opittua käytännössä, kokonaisuuksien hallinta sekä kyky oppia lisää. Myös halua elinikäiseen oppimiseen tuotiin esille.

Suppean otoksen vuoksi on turha vetää suuria johtopäätöksiä pedagogisen taustan vaikutuksesta näkemyksiin. Opettajan pedagogisella koulutuksella havaittiin kuitenkin olevan yhteys opiskelijan aktiivisen roolin ja vastuun ymmärtämiseen. Kukaan pedagogista taustaa vailla olevista henkilöistä ei maininnut näitä tekijöitä vastauksessaan. Pedagogisen taustan rinnalla vaikuttavat opettajan opetuskokemus ja oma kiinnostus opettamiseen.

Käytännön soveltamisen, käytännön esimerkkien ja käytännössä harjoittelun esiin nostaminen oppimisen osatekijöinä heijastelevat erityisesti kokemuksellisen, situationaalisen ja autenttisen oppimisen teorioita. Sosiaalisen konstruktivismin piirteitä oli mahdollista löytää muutamista vastauksista, joissa huomiota oli kiinnitetty myös opettajan ja opiskelijan välisen vuorovaikutuksen sekä ryhmän jäsenenä oppimisen.

Toisessa kysymyksessä tutkittiin oppimiskäsitysten ja käytännön opetustyön suhdetta. Laitoksen opetukseen osallistuvat henkilöt pyrkivät korostamaan opiskelijoiden aktivoinnin, opiskelijoiden aktiivisen ajattelun ja vastuun merkitystä, yksilöllisyyden huomioimista vaihtelevin opetusmenetelmin, käytännön esimerkkien antamista sekä opiskeltavan asian harjoittelua tai kokeilemista käytännössä. Lisäksi merkittäviksi koettiin opiskelijan oma motivaatio sekä vuorovaikutteisuus. Vastauksissa löytyi myös ajatuksia kertauksen merkityksestä, esitietojen tarpeellisuudesta, ongelmalähtöisyydestä ja loogisuudesta toivotun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Oppimisprosesseja ei kuitenkaan aina päästä toteuttamaan halutulla tavalla. Käytännön resurssien rajallisuuden vuoksi aktivoivien työtapojen ja käytännön

harjoittelun toteuttaminen, tiedon rakentaminen puhtaasti opiskelijan itsensä toimesta sekä yksilöllisyyden huomioiminen on haastavaa. Esimerkiksi opiskelija/opettaja-suhdeluku on toisinaan hurjan korkea. Opiskelussa arkipäivää on myös se, että joidenkin aineiden opiskelu on väistämättä joillekin opiskelijoille vastenmielistä tai epäkiinnostavaa. Tällöin tieto vain siirtyy behavioristisesti opettajalta opiskelijalle.

2.3. Pedagogisia lähestymistapoja yliopisto-opetuksessa

Tämän osan tarkoituksena on esitellä muutama kemian oppimista tukeva yliopisto-opetukseen soveltuva pedagoginen lähestymistapa. Lähestymistavat on valittu siten, että niitä joko jo sovelletaan tai voidaan tulevaisuudessa soveltaa erityisesti kemian kokeellisessa toiminnassa.

Tarkasteltaessa opetus-oppimistapahtumaa, käytetään usein käsitteitä oppimismenetelmä tai metodi, joissain teksteissä käytetään myös termiä opettamistapa. Termien väleillä on teoreettisia eroja, mutta niitä voidaan usein käyttää haitatta synonyymeinä. Työtapa voidaan kuvata metaforallisesti tieksi, jota pitkin opettajan ja opiskelijoiden työskentely etenee kohti asetettuja oppimistavoitteita, siksi käytän tässä ja myöhemmissä luvuissa Meisalon tapaan käsitettä työtapa(30).

2.3.1. Oppilaslähtöinen oppiminen ja opettajajohtoinen oppiminen

Kuten edellisissä luvuissa mainittiin, ovat behavioristiset periaatteet johtaneet perinteisesti oppimistapahtuman opettajakeskeisyyteen. Etsittäessä ratkaisua oppijan reaktioiden ja käyttäytymisen muuttamiseen, huomio on kiinnitetty opetuksen järjestelyihin ja opettajan toimintaan. Opettaja on ollut tiedon jakaja, joka on jäsennellyt ja pilkkonut tiedon oppijaa varten. Opetuksen kehittämisen yksi korkeimmista tavoitteista on perinteisen opettaja puhuu ja opiskelija kuuntelee -roolien ja käytäntöjen muokkaaminen nykyisten käsitysten mukaiseksi. Tämän päivän opettajan tulisi olla oppimisen ohjaaja ja oman tieteenalansa asiantuntija. Tällöin opiskelija joutuu ottamaan vastuun omasta oppimisestaan.

Opetuksessa käytettävät työtavat voidaan jaotella eri tavalla. Yksi tapa on luokitella ne kolmeen luokkaan sen mukaan ovatko ne opettajajohtoisia, oppilaskeskeisiä vai yhteistoiminnallista työskentelyä. Opettajajohtoisissa työmuodoissa opettaja laittaa työn alulle ja ohjaa työskentelyä. Ulkoisesti opettaja näyttää olevan aktiivisempi kuin opiskelija, mutta tarkoituksena on aktivoida opiskelija, herättää kiinnostusta ja motivaatiota opiskeltavia asioita kohtaan. Esimerkiksi opettajan esitys, luento-opetus, demonstraatiot, kysely tai yhteinen harjoitus ovat usein opettajajohtoisia työtapoja. Oppilaskeskeisissä työmuodoissa työn eteneminen ja mahdollisesti jopa suunnittelu ovat opiskelijoiden varassa. Opiskelun eteneminen ja tavoitteiden saavuttaminen ovat ensisijaisesti opiskelijan vastuulla. Yksilöllinen työskentely, laboratoriotyöt, itsenäinen tiedonhankinta, oppijoiden esitys ja ryhmätyö ovat oppilaskeskeisiä. Yhteistoiminnallisissa muodoissa työnjako on yhteinen, eikä selkeää vastuunjako ole. Ratkaisevaa jaottelussa on se, kuka on vastuussa tehtävistä. Yksipuolisesti

opettajajohtoista ja auktoriteettisidonnaista opetusta käytettäessä on turha toivoa oppijoille oma-aloitteisuutta, kriittisyyttä tai aktiivisuutta. Toisaalta, vaikka nykyään painotetaan oppilaskeskeisyyttä ja yhteistoiminnallista oppimista, myös opettajajohtoisella opetuksella on omat vahvat puolensa (8; 31).

Opetuksen ulkoiset piirteet eivät välttämättä paljasta opetuksen opettaja- tai oppilaskeskeisyyttä. Kansanen onkin esittänyt käsitteiden opettajakeskeisyys ja opettajajohtoisuus erottamista toisistaan Kasvatus-lehdessä jo vuonna 1991. Tällä hän on tarkoittanut esimerkiksi sitä, että opetus voi olla samanaikaisesti sekä opettajajohtoista, että hyvin oppilaskeskeistä (8). Opettajajohtoinen opetus ei siis tarkoita samaa, kuin opettajakeskeinen opetus. Esimerkiksi demonstraatio on mahdollista esittää opettajajohtoisesti, mutta silti oppilaskeskeisesti. Opettaja voi esittää demonstraation, jonka aikana opiskelija käsittelee tietoa aktiivisesti. Opettajan tehtävä on tällöin demonstraation suorittaminen ja opiskelijan ajattelun suuntaaminen. Tämä on ymmärrettävissä Meisalon, Lavosen et al. suunnitteleman nelikentän avulla (taulukko1.). Nelikenttä koskee lukiotasoa, mutta on mielestäni siirrettävissä suoraan myös yliopisto-tasolle.

Taulukko 1. Opettaja- ja oppilaskeskeisyyden ja -johtoisuuden vertailua (32).

Opettajakeskeinen		Oppilaskeskeinen
Opettaja-johtoinen	<ul style="list-style-type: none"> - Opettaja esittää demonstraation, esittää ja analysoi tulokset, sekä tekee johtopäätökset. - Oppilaat kopioivat opettajan esityksen vihkoihinsa 	<ul style="list-style-type: none"> - Oppilaat suunnittelevat ja esittävät tai opettaja esittää demonstraation - Oppilaat suunnittelevat ja tekevät oppilastöitä - Opettaja ohjaa oppilaita suunnittelemaan koetta ja käsittelemään luon-nosta hankittua tietoa sekä tekemään johtopäätöksiä
Oppilas-johtoinen	<ul style="list-style-type: none"> - opettaja esittää demonstraation, oppilaat antavat ohjeita mitä muuttujia opettaja varioi tai miten mittaus-tuloksia analysoidaan (esim. kyselevä opetus voi olla tätä) 	<ul style="list-style-type: none"> - oppilaat suunnittelevat ja tekevät oppilastöitä /tutkivat luontoa - oppilaat suunnittelevat ja keksivät itse, miten ilmiötä tutkitaan ja mitä siitä opitaan (vrt. projekti)

Konstruktivistisen näkemyksen mukaan on pyrittävä oppilaskeskeiseen opetukseen, sillä oppiessaan oppija luo omia merkityksiä havaitsemis- ja ajatteluprosessiensa avulla. Oppilaskeskeinen ympäristö rohkaisee niin käsitteellistä kuin käytännön oppimistakin (3). John Berryn ja Pasi Sahlbergin tutkimuksen mukaan ainakin peruskoulun oppilaat

opiskelevat innokkaammin ja nauttivat oppimisesta enemmän oppilaskeskeisiä työtapoja käytettäessä (2).

Sari Lindblom-Ylänteen mukaan yliopistossa vallitsee kaksi opetuksellisesti erilaista lähestymistapaa - sisältölähtöinen ja oppimislähtöinen (9; 15). Sisältölähtöinen opettaminen tähtää opetuksen sisältöjen välittämiseen, oppimislähtöinen taas edistää opiskelijoiden oppimista esimerkiksi vuorovaikutteisuuden avulla. Erityisesti luonnontieteissä sisältölähtöinen lähestymistapa on yleinen. Voimakkaasti sisältölähtöinen opettaja opettaa Lindblom-Ylänteen, Trigwellin, Nevgin ja Ashwinin vuonna 2006 tekemän tutkimuksen mukaan useimmiten samalla tavalla. Oppilaslähtöinen opettaja taas huomioi oppimisympäristön, kurssisisällöt ja opiskelijat pohtiessaan työtapansa.

Yliopistossa oppimislähtöisen lähestymistavan edistäminen on tärkeää, sillä oppimislähtöisen opettajan opiskelijat omaksuvat syväsuuntautuneen oppimistavan useammin kuin sisältölähtöisen opettajan opiskelijat (9). Oppimislähtöisyyden edistäminen on pitkäaikainen projekti. Tarvitaan systemaattista panostusta opettajien pedagogiseen koulutukseen ja opetuksen kehittämisen tukipalveluihin, jotta voidaan tukea opettajia oman opetuksensa ja opettajuutensa kehittämisessä.

Yliopistossa vallitsevaa oppimis- ja opettamiskulttuuria sävyttää perinteisesti opettajakeskeisyys, sekä monologikulttuuri. Opettajat pitävät monologiluentoja, joita heiltä tietyltä tasolta tarkasteltuna odotetaan (23). Luennoilla on oma vakiintunut paikkansa yliopisto-opetuksessa. Konstruktivistinen oppimiskäsitys ei tarkoita sitä, että ei saisi opettaa, tai että opiskelijoiden tulisi hakea kaikki tieto itse (31). Luennot on mahdollista rinnastaa oppimateriaaliin ja ne voivat toimia pohjana aktivoivalle toiminnalle ja tehtäville. Parhaimmillaan luennot ovatkin kiinnostavasti esitettyjä tietopaketteja, joilla herätetään myönteisiä mielikuvia, luodaan myönteisiä tunteita ja innostetaan oppimaan lisää.

Luennoitaessa yksi tärkeimmistä asioista on esityksen selkeys ja loogisuus, jota myös behaviorismissa korostetaan. Tärkeää on myös, että luento on kuulijoiden tasolla ja sopivan mittainen, jotta he voivat ymmärtää sen ja muistavat enemmän kuin alun. Huomion ylläpitämiseen taas vaikuttaa suurilta osin luennoitsijan esitys. Aktiivinen luennoitsija kykenee pitämään luennon hyvinkin eloisasti ja oppilaskeskeisesti. Kielellisesti vaihteleva ja elävä esiintyminen, sekä luennoitsijan oma innostus ja mielenkiinto asiaa kohtaan, motivoi ja innostaa myös oppijoita (8). Lisäksi luento-opetusta yliopistossa puoltaa teoreettisen tiedon tehokkuus. Sen avulla on mahdollista nähdä kokonaisuuksia, sijoittaa kokonaisuuden osia mielekkäästi omille paikoilleen ja ymmärtää periaatteita. Kemiassa luento-opetukseen sopivat erittäin hyvin demonstraatiot, jotka tukevat oppimista, mutta myös elävöittävät opetusta.

2.3.2. Yhteistoiminnallinen oppiminen

Kuten edellisessä luvussa tuli ilmi, yliopistossa on vahvat yksilöllisyyden perinteet. Nykypäivän asiantuntijan on kuitenkin kyettävä kommunikoimaan ja työskentelemään myös muiden asiantuntijoiden ja asiakkaiden kanssa, sillä yhden asiantuntijan tiedot

eivät riitä vastaamaan työelämän ja yhteiskunnan monimutkaisiin ongelmiin. Sosiaalisten taitojen, vuorovaikutteisen viestimisen ja ryhmässä toimimisen kehittymisen kannalta yhteistoiminnallisista työtavoista yliopistopedagogiikassa on hyötyä (33).

Yhteistoiminnallinen oppiminen (engl. cooperative learning,(23)) on sosiaaliseen konstruktivismiin kuuluva opetuksen ja oppimisen pedagoginen ja filosofinen lähestymistapa, jossa voidaan nähdä vaikutteita behaviorismista, sekä humanismista. Sanalla sosiaalinen viitataan tiedon ja oppimisen sosiaaliseen luonteeseen (34). Yhteistoiminnallisessa oppimisessa oppijat tekevät töitä yhteisten päämäärien saavuttamiseksi tiiminä. Yhteistoiminnallisen oppimisen alkuperäinen tavoite onkin ollut tehostaa yksilön oppimista pienryhmien avulla. Pienryhmäkeskustelujen sekä pienryhmissä tehtyjen tehtävien avulla järjestetään avoin ja monipuolinen vuorovaikutus oppijoiden välille. Pienryhmillä tarkoitetaan 2-4 hengen ryhmiä, jotka työskentelevät samanaikaisesti toisiinsa päin kääntyneinä. Yhteistoiminnallisuus ei tarkoita, että jokaisen tulisi edetä samaa tahtia, pohtia samoja ongelmia tai tehdä samoja asioita, vaan yhteistoiminnallisissa työtavoissa oppiminen on sosiaalinen prosessi, johon yksilöt liittyvät ja jota he yhdessä muokkaavat.

Yhteistoiminta ja ryhmään kuuluminen on ihmisen identiteetin kannalta tärkeää. Hyvä ryhmähenki mahdollistaa ryhmän tavoitteiden saavuttamisen. Silloin, kun ryhmä pystyy käyttämään erilaisuutta hyväkseen, heterogeeniset ryhmät ovat voimavara. Tutkimusten mukaan yhteistoiminnallisilla työtavoilla voidaan tasoittaa jopa etnisesti heterogeenisten ryhmien jäsenten välisiä statuseroja (23). Pahimmillaan heterogeenisten ryhmien käyttäminen kärjistää kuitenkin erilaisten oppijoiden eroavaisuuksia.

Yhteistoiminnallisille suuntauksille yhteistä on

- ryhmän jäsenten keskinäisriippuvuus
- ryhmän jäsenten yksilöllinen vastuu
- vuorovaikutteisuus ja sosiaalisten taitojen harjoittelu sekä
- oppimisen ja ryhmän toiminnan arviointi suhteessa asetettuihin tavoitteisiin (34).

Ryhmän jäsenten positiivinen keskinäisriippuvuus ja yksilöllinen vastuu liittyvät yhteen. Oman oppimisen lisäksi oppija on osavastuussa myös vertaisten oppimisesta ja koko ryhmän tuotoksesta. Yhteistoiminnallisen ryhmän jäsenet tarvitsevat toisiaan yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi, sillä jokaisella ryhmän jäsenellä on oma merkittävä vastuualueensa yhteisessä tavoitteessa. Yhdessä ollessaan oppijat ovat viisaampia kuin kukaan yksinään, eikä kenelläkään ryhmän jäsenellä ole hyvän yhteistoiminnallisen tehtävän tekemiseen tarvittavia taitoja yksinään, mutta jokaisella on ainakin yksi taito, joka on työn kannalta tarpeellinen. Yhteistoiminnallisen ryhmätyön etu on se, että yksilöllinen vastuu ryhmätyöstä pienenee ja ryhmätyön teko on tehokkaampaa. Positiivinen keskinäinen riippuvuus edistää vastavuoroista auttamista, lisää keskinäistä luottamusta, tukea, hyväksyntää ja toisista pitämistä. Toisten auttaminen ja avun

pyytäminen toisilta on suotavaa ja sitä tuetaan. Päämäärä on, että kaikki oppivat paremmin ja tehokkaammin (23; 28; 35).

Yhdessä oppiminen luo pohjaa myös omalle oivallukselle. Toinen ei voi oppia toisen puolesta, vaikka voikin neuvoa ja auttaa oivaltamaan. Yksilön oma ajattelu ja ymmärtämisen hetket luovat mielihyvää koko oppimistapahtumaan. Pitäessämme kemiaa vuorovaikutuksen ja kommunikaation välineenä (kielenä), sosiaalisen vuorovaikutuksen merkitys kemian oppimisessa on suuri. Uusien käsitteiden ja taitojen oppimista, sekä käsitteiden selventämistä ja soveltamista voidaan parantaa keskustelun avulla. Tutkijoiden keskuudessa selittämistä korostetaan erityisesti, kun opittavana on käsitteellisesti kompleksisia asioita. Yhteistoiminnallisissa työtavoissa tietorakenteiden konstruointi tapahtuu puhumisen, selittämisen, väittelyn ja kyselemisen avulla (ns. produktiivinen puhe). Lisäksi kuunnellaan aktiivisesti ja halutaan ymmärtää mitä muut sanovat. Keskusteluun osallistuvat tarjoavat toisilleen mielipiteitä, esittävät näkemyksilleen vaihtoehtoja, pohtivat kriittisesti eri näkökohtia ja pyrkivät yhteisesti jaettuun ymmärrykseen (2; 23).

Negatiivisesta keskinäisestä riippuvuudesta puhutaan, kun opiskelijoiden välillä on kilpailullinen vuorovaikutussuhde. Yhteistoiminnallisessa oppimisessa pyritäänkin vähentämään kilpailua, kateutta, ennakkoluuloisuutta ja vihamielisyyttä, koska niiden on todettu ehkäisevän, niin yksilön, kuin ryhmänkin oppimista. Toisaalta eritasoiset yksilöiden väliset tai yksilön ja ryhmän väliset ristiriidat voivat myös edistää oppimista laittamalla muutoksen liikkeelle (34).

Yhteistoiminnalliset työtavat koetaan oppijoiden keskuudessa innostaviksi ja niitä käytettäessä oppimisilmapiiri on myönteinen. Yhteistoiminnallisen ryhmän avulla voidaan pitää yllä kiinnostusta käsiteltävään aiheeseen, parantaa oppimismotivaatiota, sekä edistää oppimistaitojen oppimista (23; 28; 33).

Opettajan rooli on yhteistoiminnallisessa oppimisessa oppimisen ohjaaja. Hän valvoo edellä mainittujen yhteistoiminnallisten periaatteiden toteutumista ja luo yhteistoiminnallisen oppimisympäristön, jossa oppimistehtävät ja niiden yhteistoiminnallinen rakenne edistävät oppimista ja kulloisenkin tavoitteen saavuttamista. Mitä lähemmäksi konstruktivistista oppimiskäsitystä tullaan, sitä enemmän tavoitteista ja työtavoista neuvotellaan yhdessä opiskelijoiden kanssa.

Yhteistoiminnallisen oppimisen työtapakuvauksia löytyy monista lähteistä. Yhteistoiminnallinen oppiminen tarjoaa hyvän teoreettisen viitekehyksen, sekä käytännön sovelluksia (23). Yliopisto-opetukseen niin luennoille, seminaareihin kuin kenttäkursseillekin soveltuvat esimerkiksi palapeli-tekniikka, yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu ja ryhmätutkimus. Palapelin idea lyhykäisyydessään on muodostaa opiskelijoista ensin kiinteät kotiryhmät (3-5 opiskelijaa) ja sitten jakaa kotiryhmä asiantuntijoihin, jotka työskentelevät asiantuntijaryhmissä (35). Lisäksi lyhyet parikeskustelut idealla ”ajattele-käänny-kerro” sopivat moniin tilanteisiin. Luennon voi myös joskus keskeyttää, pyytää opiskelijoita kirjoittamaan paperille mitä he ovat tähän mennessä luennolla oppineet ja hetken päästä pyytää opiskelijoita jakamaan oppimansa vieruskaverien kanssa (33).

Yhteistoiminnallisen oppimisen arvioinnissa kiinnitetään huomiota yksilön sekä ryhmän oppimiseen. Arvioinnin kohteena on opittavan aiheen hallinta, vaadittavien taitojen kehittyminen, ryhmätyötaidot sekä yhteisen tavoitteen saavuttaminen. Arvioinnin apuna sekä lähtökohtana käytetään itsearviointia, joka on mahdollista erilaisia lomakkeita apuna käyttäen. Työskentelyn laadun varmistaminen ja palautteen antaminen ryhmälle on tärkeätä, jos halutaan hyviä tuloksia. Ryhmätyön tuloksen huomioiminen arvioinnissa vaikuttaa siihen, miten opiskelijat motivoituvat panostamaan yhteisen työn laatuun (23; 33).

Sosiaalinen vuorovaikutus sekä kokeellisuus ovat keskeisiä asioita kemian oppimisessa (17). Yhteistoiminnallisen oppimisen periaatteita on mahdollista hyödyntää tietojen oppimiseen tähtäävän kokeellisuuden yhteydessä myös demonstraatio-opetuksessa. Demonstraation jälkeen pari keskustelee ensin demonstraation aikana havaitusta ilmiöstä ja tekee havainnoistaan johtopäätöksiä ja etsii selityksiä ilmiöille. Seuraavaksi kaksi paria vertailee keskenään selityksiään ja näkemyksiään. Kahden parin keskustellessa muodostuu neljän hengen ryhmän yhteinen näkemys. Kokoamalla yhteen edelleen kaikkien pariin näkemykset yhteen saadaan koko luokan näkemys (36).

2.3.3. Tutkiva oppiminen

Uteliaisuus, tiedonhalu ja tutkimus synnyttävät luonnontieteellistä tietoa (37). Tutkivan oppimisen mallissa on taustalla ajatus yhteisöllisyydestä, mutta myös oppimisesta tutkimisen kaltaisena jatkuvasti syvenevänä spiraalina prosessina. Yksilöllinen ja yhteisöllinen tavoitteenasettelu, työskentelyteorioiden luominen, tiedon hankkiminen, kyseenalaistaminen ja palautteen antaminen ovat keskeisiä tutkivan oppimisen prosessin kannalta (23).

Tutkivan oppimisen mallissa tieto rakennetaan konstruktivistisin periaattein seuraavien vaiheiden kautta.

1. *Konteksti luodaan* aiheeseen liittyvien opiskelijoiden taustavaikuttajien synnyttämien mielikuvien avulla.
2. *Ongelman/kysymysten asettaminen* tapahtuu jäsentävien tutkimuskysymysten avulla. Opiskelijan itsensä asettamat kysymykset edistävät syvällistä oppimista.
3. *Työskentelyteorioiden luominen* tehdään kirjallisesti opiskelijoiden alustavien olettamusten avulla. Tällöin opiskelijoiden ennakkokäsitykset tulevat alttiiksi avoimelle keskustelulle.
4. *Kriittinen arviointi* työskentelyteorian heikkouksien ja vahvuuksien paljastamiseksi. Samalla asetetaan oppimistavoitteet.
5. *Syventävän ja uuden tiedon hankkiminen* oppikirjoista ja luennoilta, sekä oppikirjojen ulkopuolisista lähteistä, kuten kirjaston tietokannoista.
6. *Tarkentuvan ongelman asettaminen* ajatuksia jakamalla puhuen ja kirjoittaen.
7. *Uuden työskentelyteorian luominen ja jakaminen* ryhmän kesken syventävien tietojen muodostamista kokonaisuuksista.

Prosessin aikana löydettyjen tiedon ja ymmärryksen aukkojen täydentäminen tapahtuu uusien syventävien tutkimuskierroksien kautta. Tärkeää on, että opiskelija itse asettaa aktiivisesti yhä parempia kysymyksiä. Tällöin opiskelija saa mahdollisuuden ilmaista omia ideoitaan ja tutkia ongelmia itsenäisesti myös ilman opettajan ohjausta. Väistämättä tutkivan oppimisen mukaisessa oppimiskokonaisuudessa on mukana myös opettajan puhetta. Tuona aikana opiskelija kuuntelee, mikä tulkitaan yksisuuntaiseksi behavioristiseksi tapahtumaksi. Samoin käy myös opiskelijan esittäessä toiselle omaa tutkielmaansa.

Tutkivan oppimisen malli soveltuu erityisen hyvin yliopistoon, sillä se muistuttaa tutkimuksen tekemistä. Sitä kautta voidaan tukea asiantuntijalle tyypillisen tiedon hankinnan taitoa. Yliopistossa tutkivaa oppimista muistuttavat tutkimusprojektit, joissa opiskelijat pyrkivät ratkaisemaan ongelmia toistensa ja tiedeyhteisön muiden jäsenien kanssa. Onnistuneen tutkivan oppimisen mukaisen tutkimustyön aikana tutkittavat ilmiöt saavat merkityksen ja ilmiöiden väliset suhteet aukeavat. Prosessin aikana esitetyt kysymykset ohjaavat työskentelyä ja syventävät tietämystä. Opiskelijan on käytettävä materiaalina useaa eri lähdettä ja kohdetta on tutkittava monista eri näkökulmista. Parhaimmillaan opiskelija kykenee ymmärtämään monimutkaisempia ongelmia, kuin joita olisi yksin kyennyt ratkaisemaan (38). Oppiminen muistuttaa kemiallisen tutkimuksen tekemistä erityisesti silloin, kun oppiminen perustuu kemian tiedon rakentumiseen havainnoimalla, arvioimalla havaintoja ja vertaamalla niiden merkitystä aiemmin omaksutun tiedon perusteella. Demonstraatio-opetusta voidaankin hyödyntää osana tutkivaa oppimista, sillä tutkimusongelmat voidaan testata demonstraation avulla (39).

Kirsti Longan, Kirsi Pyhällön ja Lasse Lipposen mukaan ongelmalähtöinen oppiminen on tavallaan tarkasti strukturoitu erikoistapaus tutkivasta oppimisesta (38).

2.3.4. Ongelmaperustainen oppiminen

Ongelmaperustainen oppiminen (engl. problem-based-learning, PBL) (40) on oppija- ja ryhmäkeskeisyyttä painottava työtapo, jota Boud & Feletti kutsuvat jopa ”ylemmän ammatillisen koulutuksen tärkeimmäksi innovaatioksi parin viimeisen vuosikymmenen aikana” (41). Itse asiassa ongelmaperustainen oppiminen on tunnettu ulkomailla jo neljän kymmenen vuoden ajan, mutta Suomeen se löysi vasta parikymmentä vuotta sitten (42). Ongelmaperustaisen oppimisen synonyymeinä käytetään usein ongelmakeskeistä ja ongelmalähtöistä oppimista (25). Sari Poikelan mukaan nämä eivät kuitenkaan käy synonyymeistä. Ongelmakeskeisyydellä on mahdollista korostaa satunnaista oppimistapahtuman elävöittämistä ongelman avulla, ja ongelmalähtöisyys taas painottaa ongelman ratkaisua oppimisprosessin jäädessä sinänsä syrjään.

Ongelmaperustainen oppiminen perustuu kognitiiviseen psykologiaan ja konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen (40). Ongelmaperustaisessa oppimisessä ongelma johdattaa uuteen aihepiiriin, herättää opiskelijan ennakkotiedot ja ohjaa muodostamaan oppimistavoitteita (43). Opiskelu muistuttaa pienimuotoista tutkimusprojektia, jossa arkielämän ongelmat tukevat oppimista (43). Pelkkä ongelmien

käyttö ei kuitenkaan riitä, vaan huomiota kiinnitetään oppimisprosessiin. Ongelmaperustaisessa oppimisessa on kyse teorian ja käytännön tiiviistä yhdistämisestä (44). Sen avulla voidaan kaventaa koulutuksen ja työn sekä opetuksen ja tutkimuksen välistä kuilua. Ongelmanperustaisen oppimisen käyttö on pedagogisesti perusteltua. Sen avulla voidaan auttaa ymmärtämään opittavaa asiaa, kehittää ongelmanratkaisu- ja oppimistaitoja, ehkäistä pintaoppimista sekä muokata oppimiseen liittyviä asenteita (40). Lisäksi osittain itse asetetut oppimistavoitteet helpottavat sitoutumista opiskeluun.

Ongelmaperustaisesta oppimisesta on olemassa eri variaatioita (43). Useissa malleissa ongelmaperustaista oppimista pidetään syklisenä prosessina, joka lähtee liikkeelle vielä ratkaisemattomasta ongelmallisesta tilanteesta tai pulmasta. Ongelman tavoitteena on auttaa opiskelijoita hahmottamaan monimutkaisia ja monitasoisia kokonaisuuksia. Samalla tulee näytettyä, ettei ongelmiin usein ole yksiselitteisiä ratkaisuja.

Hakkarainen, Lonka ja Lipponen esittävät ongelmaperustaiselle oppimiselle seitsemän vaiheisen työtavan (18). Ensimmäisessä vaiheessa *asetetaan ongelma*. Opettaja, jota kutsutaan ongelmaperustaisessa oppimisessa tuutoriksi ohjaa ryhmätapaamista, jota kutsutaan tutoriaaliksi (14). Tutoriaali voidaan järjestää monella tavalla, mutta useimmiten työskennellään 5-9 hengen pienryhmissä. Suuremmissa ryhmissä on vaarana, että jotkut opiskelijat jäävät pois keskusteluista (43). Ongelmaan liittyvät aikaisemmat tiedot tuodaan esille *aivoriihessä*, jossa myös *ryhmitellään* tuotokset. Aivoriihi on oma työtapansa, jossa vapaasti ideoidaan ja tuodaan julki tietoja. Aivoriihi voidaan toteuttaa esimerkiksi paperilapuille, jotka kootaan yhteen tai taululle, jonne jokainen käy kirjoittamassa ajatuksen (40). Tuotoksesta *valitaan ongelma-alueet* ja määritellään oppimistehtävä.

Oppimistehtävää lähdetään purkamaan itsenäisellä *tiedonhankinnalla*. Tietoa voi hankkia esimerkiksi luennoilta, harjoituksista, kirjastosta, tietoverkoista, medioista, asiantuntijoilta tai työpaikoilta. Opettaja voi auttaa lähdemateriaalin etsimisessä, mutta oppijan itsenäinen tiedonhankinta vahvistaa omatoimisuutta ja kiinnostusta tavoitteiden saavuttamiseen. Samalla kehittyy oppijan itsesääätely. Tavoitteena on monipuolinen ja syvälinen perehtyminen opiskeltaviin asioihin yksittäisten ongelmien malliratkaisujen löytymisen sijaan. Opiskelijan aktiivisen roolin tuloksena on syväoppimista (43).

Tiedon konstruoinnin vaiheessa pidetään toinen tutoriaali, jossa ongelmaa tarkastellaan yhteisesti. Oppiminen tapahtuu motivoivassa kontekstissa, oppijan toimiessa itse vuorovaikutuksessa muiden kanssa. Ongelmat kannustavat opiskelijoita osallistumaan ja keskustelemaan aktiivisesti ongelman ratkaisemisesta.

Oppimistehtävän laadintaa, tiedonhakua ja tiedon konstruoinnin vaiheita voidaan pitää tutkivan oppimisen yksilöllisten ja yhteisöllisten prosessien muunteluna (14). Viimeisenä vaiheena seitsemän vaiheisessa mallissa palataan alkuperäiseen ongelmaan ja erityisesti sen ratkaisemisen aikana opittuihin asioihin. Ongelmanratkaisu on olettamusten ja yksinkertaistusten tekemistä, joten kun prosessi arvioidaan kriittisesti, kiinnitetään huomiota myös tehtyjen olettamusten vaikutuksesta lopputulokseen.

Ongelmaperustaisessa oppimisessa oppimisen vastuu on opiskelijalla. Opettajan tehtävä on oppimisprosessin ohjaaminen. Käytännössä opettaja katsoo, että oppimistavoitteet täyttyvät ja että vuorovaikutus opiskelijoiden kesken on oppimista edistävää. Opettajatutor ohjaa kyselemällä, auttaa ryhmää täsmentämään ja syventämään selityksiään ja tekemään käydyistä keskusteluista jäsennyksiä ja koosteita. Näin myös opettajalta vaaditaan vuorovaikutustaitoja oman alansa asiantuntijuuden lisäksi. Opettajan vastuulla on myös palautteen antaminen (43).

Ongelmasta tai probleemasta voidaan puhua, kun yhtään tulokseen johtavaa ratkaisua ei ole välittömästi havaittavissa (45). Kemiassa ongelmanratkaisu on työelämän ja yhteiskunnan todellisten ja aitojen ongelmien ratkaisemista kemian avulla. Näin opittavalle sisällölle saadaan parempi käyttöarvo, kuin pelkkää teoriaa käsittelemällä.

Hyvä ongelma kannustaa opiskelijaa käyttämään erilaisia taitoja ja tiedon tyyppejä sekä motivoi oppimaan. Näin sekä luovat, että strategiset ongelmanratkaisun taidot kehittyvät. Ongelmien laadintaan ja suunnitteluun löytyy paljon ohjeita. Useissa ohjeissa hyvä ongelma kuvataan opiskelijan kannalta olennaiseksi, avoimeksi, moniulotteiseksi, tietoja yhdistäväksi, johdonmukaiseksi, ajankohtaiseksi, motivoivaksi sekä kontekstiin liittyviä yleisiä toimintaperiaatteita sisältäväksi. Kokematon ongelman laatija ajautuu kuitenkin helposti sisältöön, jonka laatija katsoo opiskelijoiden tarvitsevan. Opiskelijan mielenkiintoa laskevat liian monimutkaiset, turhan rajatut sekä kaavamaiset ongelmat. Myös opiskelijan motivaatio laskee, jos opiskelija ei pysty tavoittamaan asetettuja päämääriä määräajassa (46).

Esimerkiksi mallintaminen on osa kemiallista ongelmanratkaisua. Mallintamisella kuvataan ja ratkaistaan kemiallisia ongelmia. Mallintamisen prosessissa on kolme vaihetta. Ensimmäisessä muotoillaan ja sisäistetään ongelma, toisessa ratkaistaan ongelma mallin avulla ja kolmannessa vaiheessa tulkitaan ratkaisu ja mallin antamat ennusteet. Havaintoja voidaan käyttää mallin rakentamisen perustana (21). Kemian luento-opetuksessa havaintoja voidaan tuottaa demonstraatioilla. Yksittäistä demonstraatiota voidaan hyödyntää mallin rakentamisessa, mutta myös itsenäisenä ongelmanaan ongelmaperustaista opetusta tavoiteltaessa.

Oma sovelluksensa kemian mallintamisesta on tietokoneavusteinen molekyylihallinnus. Molekyylihallinnuksella tarkoitetaan molekyylin rakenteen mallintamista piirroksin. Tietokoneella tuotetut kolmiulotteiset kuvat luovat eloisan mallin ja parantavat ymmärtämystä. Siksi ne soveltuvatkin hyvin oppimisen tukemiseen. Erilaiset mallinnusohjelmat perustuvat laskennalliseen kemiaan. Kokeelliselle kemistille molekyylihallinnus on työkalu, joka sekä auttaa, että inspiroi. Molekyylihallinnuksen avulla voidaan ymmärtää enemmän yhdisteitä, joita laboratoriossa valmistetaan. Opetuskäytössä sen avulla voidaan parantaa visualisointitaitoja ja esimerkiksi rakennekemian keskeisten käsitteiden ymmärtämystä (28).

Jotta kemian kokeellisesta työskentelystä saisi kaiken hyödyn, tulisi kokeellisuuden sisältää jokin todellinen ongelma, jonka tulos ei olisi tiedossa etukäteen ja jonka opiskelija kykenisi ratkaisemaan itse (47). Monet tämän päivän yliopisto-opettajan

avuksi suunnitelluista laboratoriotyöohjeista perustuvatkin arkipäivän ongelmiin(48). Myös demonstraatio-opetuksessa voidaan hyödyntää ongelmanratkaisua, havaitsemista ja ilmiöiden selittämistä demonstraatioon perustuen.

2.3.5. Kokeellisuus

Kemian tiedon lähtökohtana ovat luonnossa tapahtuvat ilmiöt ja siitä tehtävät havainnot. Tieteellinen tiedonhankinta tapahtuu erityisesti suunnitelluilla tieteellisillä kokeilla pääsääntöisesti laboratorio-olosuhteissa. Yliopisto-opetuksessa kokeita vaatimattomassa muodossa vastaavat useimmin demonstraatiot ja oppilastyöt. Näiden lisäksi kokeellisuudeksi voidaan laskea opintokäynnit sekä audiovisuaalisten välineiden ja kerronnan avulla tapahtuva opetus (39; 49).

Tutkimuksen tekeminen alkaa mielenkiintoisesta havainnosta, tutkijoilla useimmin tutkimuksista. Toisaalta se voi olla peräisin myös havaitusta ongelmasta, joka kaipaa käytännön ratkaisua. Hypoteesiksi kutsutaan olettamusta siitä, miten havainto selitetään tai ongelma ratkaistaan. Tutkimushypoteesi on usein valistunut arvaus, jossa ennakkotietona ovat kirjallisuus tai aiemmat tutkimukset. Se voi vastata esimerkiksi kysymyksiin ”Mitä oletan tapahtuvan?”, ”Mitä oletan ilmiön syyksi?” tai ”Mitä näistä voi syntyä?”. Hypoteesin kokeellinen testaus suunnitellaan ja toteutetaan koejärjestelyllä tai havainnoimalla. Saadut tulokset tulkitaan ja niistä muodostetaan johtopäätökset. Lopuksi arvioidaan tutkimus ja kirjoitetaan ja esitetään tutkimusraportti (3; 37).

Luonnontieteellisen tutkimuksen tapaan kemian opiskelun on hyvä olla tutkivaa ja rakentua konstruktivistisin periaattein. Sopivasti toteutettuna luonnontieteellisen tutkimuksen tekeminen toteuttaa oppimissyklin tehtiin se sitten demonstraationa, virtuaalilaboratoriossa tai oppilaslaboratoriossa. Useimmilla tutkimustehtävillä voidaan vahvistaa luokittelun, tietojen kokoamisen ja jäsentämisen, tiivistämisen, säännönmukaisuuksien huomaamisen, laajentamisen ja yleistämisen, sekä testaamisen, todistamisen ja selittämisen taitoja(37).

Opetuksessa kokeelliseen toimintaan kuuluu tutkimuksen tavoin havainnointia, luokittelua, hypoteesien asettamista, kokeita, mittauksia, pohdintaa, tulosten esittämistä ja analysointia, sekä johtopäätösten tekemistä ja soveltamista. Näiden lisäksi kokeelliseen toimintaan on hyvä kuulua keskustelua, väittelyä ja mallintamista. Kokeellisilla tunneilla ei luonnollisestikaan tarvitse esiintyä kaikkia näitä asioita, vaan opetus tulee suunnitella siten, että se tukee oppimista parhaiten. Kokeellisuuden suunnittelu riippuu paljolti siitä onko käsiteltävä aihe konkreettinen vai abstrakti. Kyetäkseen suunnittelemaan tarkoituksen mukaista kokeellista opetusta, tulee opettajan hallita aineensa hyvin(50)

Kokeellinen työskentely voidaan luokitella sen mukaan onko tehtävä koe kvalitatiivinen vai kvantitatiivinen. Kvalitatiivisessa kokeessa ilmiön peruspiirteiden havainnoiminen johtaa toivottuun tulokseen. Kvalitatiivisissa kokeissa pyritään mallin tai sovelluksen esittämiseen, mallin paikkansapitävyyden toteamiseen ja mallin kuvaamiseen tai ilmiön havainnollistamiseen. Kvantitatiivinen koe taas perustuu

mittaukseen. Kvantitatiivisen kokeen päämääränä on luonnonvakion mittaaminen, aineiston tuottaminen mallin luomiseksi tai mallin paikkansapitävyyden osoittaminen(39).

Kokeellisuuden avoimuuden astetta oppilastöissä voidaan vaihdella ongelman, tavoitteen, tutkimusvälineiden, menetelmän, työohjeiden ja tulosten käsittelyn suhteen(3; 32; 37). Suljettu laboratoriotyö sisältää täydellisen suoritusohjeen ja tavoitteen. Lisäksi opettaja on valinnut työvälineet ja opastaa niiden käytön - myös työselostus noudattaa perinteisiä normeja. Suljettu laboratorioharjoitus on harjoitus, joka tuo taitoa ja ehkä myös tietoa. Paikallaan se on esimerkiksi kun halutaan opiskelijan oppivan jokin menetelmä. Vaarana on kuitenkin se, ettei aikaa jää ajattelulle ja pohtimiselle, kun luetunymmärtäminen ja tekeminen ovat pääosassa. Nopeassa tahdissa myös havaintojen tekeminen jää toisarvoiseksi(47). Samalla kuva kemiasta tieteenä saattaa vääristyä.

Avoimen laboratoriotyön tekemisen opiskelija/työpari/kotiryhmä suunnittelee itse tutkimusongelman selvittyä. Myös toteutus ja raportointi ovat opiskelijoiden vastuulla. Tutkivan oppimisen mukaan avoin laboratoriokoe on ideaali. Yhteistoiminnallisia työtapoja hyväksi käyttäen tutkimustehtäviin sisältyvät erilaiset osatehtävät voidaan jakaa ryhmissä kykyjen, kiinnostuksen ja taitojen mukaan, eikä tutkimustyö valmistu ilman jokaisen panostusta.

Ahteen, Kankaanrinnan ja Virtasen mukaan hyvään kemian opetukseen peruskoulussa ja lukiossa kuuluu runsaasti kokeita ja demonstraatioita (17). Tähän tähtäävät myös opetussuunnitelman perusteet. Tuoreimmat peruskoulun opetussuunnitelman perusteet ovat vuodelta 2004. Tuolloin kemian kannalta hyödyllisin uudistus oli 5.-6. luokkien luonnontieteiden opetuksen eriytyminen biologiaksi, maantiedoksi, terveystiedoksi, fysiikaksi ja kemiaksi (51). Samalla kaiken opetuksen luonne muuttui painottamaan oppilaan omaa aktiivista roolia, ajattelua ja toimintaa. Oppilaan elämyksiä, havaintoja, kysymistä, tunnistamista, mittaamista, luokittelua, kokeilemista ja tutkimista pidetään tärkeinä oppilaan oppimisen kannalta. Kemian opetusta ei voida enää järjestää luomatta oppilaille mahdollisuuksia tutkimuksiin ja kokeelliseen toimintaan(52). Vastaavasti lukion opetussuunnitelman perusteet ovat vuodelta 2003(53). Myös kemian lukio-opetukselle pidetään luonteenaan kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitsemista ja tutkimista kokeellisesti. Peruskoulun ja lukion oppijat kokevat oppilastyöt mielekkäiksi erityisesti silloin, kun ymmärretään mitä työssä ollaan tekemässä. Vastaavasti töistä ei pidetä, mikäli ne eivät onnistu. Oppilastöistä pidetään yleensä kuitenkin enemmän kuin demonstraatioista tai luennoista.

Kun kerran peruskoulussa ja lukiossa kokeellisuutta pidetään kemian oppimisen kannalta tärkeänä, niin miksei sitten yliopistossakin? Tampereen teknillisellä yliopistolla kokeellinen työskentely painottuu laboratoriokursseille, luennoilla ei demonstraatioita juurikaan näy. Syiksi voidaan varmaankin lukea osin samat syyt kuin peruskoulun ja lukion kokeellisuutta tutkineessa Kemian opetus tänään tutkimuksessa. Siinä lukion ja peruskoulun opettajat perustelivat kokeellisuuden vähäistä käyttöä aikapulalla, suurilla ryhmäkoilla, laboratorioluokkien puutteella, välineiden

riittämättömyydellä, kemikaalien puuttumisella sekä oppimistilojen ahtaudella. Esiin tuli myös sopivien töiden löytymättömyys - toiset kokivat peruskoulun tehneen jo parhaat työt ja toisaalta niiden myös riittävän. Joissain vastauksissa nostettiin esiin erillisten laboratoriokurssien olemassaolo ja toisaalta esitettiin skeptisiä väitteitä sen suhteen opitaanko kokeellisuuden avulla mitään (22).

Huomionarvoista on, ettei kokeellisuus tarkoita ainoastaan aktiivista motorista toimintaa, vaan pikemminkin aktiivista tiedon käsittelyä. Valitettavasti eri syistä johtuen kokeellisuus ei aina johda aktiiviseen tiedon käsittelyyn ja oppijan omakohtaiseen tiedon konstruointiin. Tätä edistää kuitenkin opettajan ohjaus, harjoittelu, riittävä ajankäyttö sekä monipuoliset kokeelliset työtavat (32).

2.3.6. Monipuolisten työtapojen merkitys

Kemiassa painotetaan kokeellisten työtapojen käytön tärkeyttä. Monipuolisten työtapojen avulla opiskelijoita ohjataan aktiiviseen kemian tietojen ja taitojen sekä persoonallisuuden kaikkien osa-alueiden kehittämiseen. Kun kemian opetuksen toteutuksessa otetaan huomioon opiskelijoiden aikaisemmat kokemukset, tiedot ja ennakkokäsitykset, luodaan hyvä lähtökohta uuden oppimiselle. Opettajan tulee luoda oppimisympäristö, jossa opiskelijan on mahdollista prosessoida tietoa aktiivisesti. Myönteinen kuva kemiaa ja sen opiskelua kohtaan saadaan, kun käsitellään uutta tietoa mahdollisimman aidossa ja mielekkäässä asiayhteydessä (54).

Opettaa voi monella eri tapaa, eikä yhtä kaikille sopivaa työtapaa ole olemassa (2). Ratkaisuna on joustava ja monipuolinen työtapojen soveltaminen erilaisiin opetustilanteisiin. Käytettäessä työtapoja mahdollisimman monipuolisesti, turvataan eri tavoin oppivien ja motivoituneiden kiinnostus ja taataan jokaiselle joskus kokemus osaamisesta (3). Monipuolisilla työtavoilla on vaikutusta myös myönteiseen tunneilmastoon opetustilanteessa.

Kemian ilmiöiden jäsentäminen, peruskäsitteiden ymmärtäminen ja ajattelun kehittyminen edellyttävät opetukselta monipuolisia työtapoja. Erilaisilla työtavoilla voidaan tähdätä eri tavoitteisiin. Ajatteluun ja tiedon prosessointiin voidaan tähdätä luokittelemalla ja kyselyyn harjaannuttamalla (22). Käsitteiden omaksumista ja ymmärtämistä voidaan tukea työtavoilla, joissa oppilailla on mahdollisuus keskustella ja olla vuorovaikutuksessa toisten kanssa. Samalla kehittyvät myös kemisteiltä edellytettävät kyvyt ja valmiudet (30). Esimerkiksi ihmissuhdetaidot, kuten ryhmätyötaidot, johtamistaito, tarkoituksenmukaisen työnjaon suorittamisen sekä toisen ihmisen huomioon ottamisen taito nousevat myös diplomi-insinööreillä tärkeiksi taidoiksi. Samoin persoonallisuuden tahtoon ja luovuuteen liittyvät aloitteellisuus, pitkäjänteisyys, päätöksentekokyky ja vastuun ottaminen nousevat tavoitteisiin, joihin ei aina kiinnitetä huomiota. Vuorovaikutustaitoja on mahdollista kehittää valitsemalla työtapaa sen mukaisesti. Työtavat, joissa opiskelijat ovat luontevasti tekemisissä toistensa kanssa, ovat useimpien opiskelijoiden mielestä mukavia. Niissä vuorovaikutustaidot kehittyvät kuin itsestään (3).

Opetuksessa toteutuviin työtapoihin vaikuttavat usein aika- ja materiaaliressit sekä opettajan oma kiinnostus ja viitseliäisyys (31). On helppoa sortua opettajakeskeisiin oppimateriaaleihin ja opettajan auktoriteettiin perustuvaan opetukseen. Tärkeintä työtavan valinnassa olisi miettiä, mikä parhaiten edistää opetuksen tavoitteita ja oppimista (23). Uuden työtavan vakiinnuttaminen osaksi opetustyötä vaatii työtavan teoriaan ja taustafilosofiaan tutustumisen lisäksi harjoitusta sekä palautteen saamista.

3. DEMONSTRAATIOT KEMIAN OPETUKSESSA

Opetuksessa kemiallisia ilmiöitä, rakenteita ja aineiden ominaisuuksia havainnoidaan ja tutkitaan kokeellisten työtapojen avulla. Demonstroiminen on yksi kokeellisen opetuksen työtavoista. Jarkko Lampiselkä määrittelee eräässä artikkelissaan demonstraation opettajajohtoiseksi vuorovaikutustilanteeksi, jossa oppiminen on oppijakeskeistä ja aktiivista tiedonhankintaa(55).

Tässä luvussa perehdytään demonstraation tavoitteisiin, suunnitteluun ja esittämiseen. Lopuksi esitellään aiheita Grignard-reaktion demonstroimiseksi orgaanisen kemian yliopisto-opetuksessa.

3.1. Motivaatio ja hyödyt

Kemian tulevaisuus on riippuvainen opiskelijoiden mielenkiinnosta kemiaa kohtaan(54). TTY:n koulutuksen kehittämisohjelman yhtenä nimettynä tavoitteena onkin, että opiskelijoiden motivaatio opintoihin säilyy opiskelujen ajan tavoitteellisena ja tähtää syväsuuntautuneeseen, ymmärtävään oppimiseen(11).

Nykypäivän motivaatiotutkimus määrittelee motivaation dynaamiseksi suhteeksi yksilön sisäisten tarpeiden, ulkoisten kohteiden ja ympäristön välillä. Motivaatio on siis muuttuva, ympäristön kanssa vuorovaikutuksessa oleva voima ja siksi myös unelmiensa alaa opiskeleva opiskelija kohtaa motivaatio-ongelmia (56).

Asiantunteva ja innostunut kemian opettaja innostaa myös opiskelijaa. Motivointi onkin osa opettamisen perustaitoa. Sen avulla opiskelijan mielenkiinto viritetään tietylle tasolle ja suunnataan tiettyyn kohteeseen. Yksi motivoinnin periaate on opiskelijan inhimillisen uteliaisuuden herättäminen, jolla kasvatetaan tiedonhankintamotivaatiota.

Motivaatiota voi tarkastella kiinnostuksen näkökulmasta, jolloin kiinnostus on se osa motivaatiota, jolla on aina kohde, jota ihminen pyrkii kehittämään; opiskelijalla esimerkiksi tieteenala, teoria tai taito. Kiinnostuksella on kaksi eri tasoa; tilannekohtainen ja henkilökohtainen kiinnostus. Oppimisen kontekstilla vaikutetaan opiskelijan tilannekohtaiseen kiinnostukseen. Erityisesti opiskelijat, joiden henkilökohtainen kiinnostus on vasta puhkeamassa, tarvitsevat enemmän opettajan, muiden opiskelijoiden ja oppimisympäristöjen tukea, kuin ne opiskelijat, joiden kiinnostus on jo pidemmällä.

Korkea tilannekohtainen kiinnostus johtaa parhaimmillaan syväoppimiseen(21). Lisäksi tilannekohtainen kiinnostus voi toimia myös henkilökohtaisen kiinnostuksen varhaisena vaiheena. Henkilökohtainen kiinnostus on sekä psykologinen tila, että melko

pysyvä taipumus työskennellä tietyn aiheen parissa ja kehittyä sen mukana. Henkilökohtaisen kiinnostuksen löytyminen yliopisto-opinnoissa on tavoiteltavaa, sillä työskentely kiinnostavan kohteen parissa koetaan usein miellyttäväksi. Lisäksi sille on luonteenomaista sinnikkyys ja vahva tunteenomainen sitoutuminen.

Kemian opettaja voi edistää tilannekohtaista kiinnostusta monilla pedagogisilla ratkaisulla, joista demonstraatio on yksi ratkaisu. Demonstraatio voi olla hyvinkin motivoiva ja uteliaisuutta herättävä. Erityisesti se saa ajattelemaan opiskeltavaa asiaa ja herättää tiedonnälän(55). Yllätyksellinen demonstraatio aktivoi opiskelijat suuntaamaan mielenkiintonsa opiskeltavaan ilmiöön tai asiaan(32; 55). Jos demonstraation tarkoitus on ainoastaan motivoida, kutsutaan sitä motivaatiodemonstraatioksi. Motivaatiodemonstraatio esitetään usein heti tunnin aluksi ja se on kvalitatiivinen(39). Demonstraation avulla kemiasta voidaan kuitenkin tehdä opiskelijalle mielenkiintoista ja jännittävää.

Opiskelusta voi kadota mielenkiinto, jos kemia koetaan liian abstraktiksi. Oppilaiden oppimismotivaatio kohoaaikin demonstraatiota seurattaessa myös siksi, että he voivat nähdä luonnonilmiöissä tapahtuvia muutoksia omin silmin(54). Omin silmin havaittu muutos myös muistetaan paremmin(32).

Vaikka demonstraatiolla on kiistatta viihdyttävä vaikutuksensa, demonstraation synnyttämä motivaatio puoltaa sen käyttöä opetuksessa(55). Itse asiassa kokeellisen työskentelyn tärkeimpinä tavoitteina voidaan pitää oppijoiden motivointia ja oppimisen tukemista(22).

Sen lisäksi, että demonstraatio-opetuksella motivoidaan opiskelijoita ja tuetaan kemian oppimista, on demonstraatio-opetuksella myös käytännön hyötyjä, joiden perusteella sen opetuskäyttö on perusteltua. Demonstraatio-opetuksessa laitteiden ja materiaalien kustannuksissa säästetään, sillä demonstraatio suoritetaan kaikille yksillä laitteilla ja reagensseilla. Toisinaan laitteet ja reagenssit ovat jopa niin kalliita, ettei niitä olisi edes mahdollista tai järkevää hankkia suuren opiskelijaryhmän laboratoriotöitä varten. Samalla ympäristölle haitallisten reagenssien ja lopputuotteiden ainemäärät kyetään pitämään alhaisina (3). Myös onnettomuusriski muihin kokeellisuuden muotoihin verrattuna pienenee, sillä opettajalla on enemmän tietoa työturvallisuudesta.

Demonstraatio-opetuksella säästetään aikaa, kun opettaja tietää mitä on tekemässä. Esimerkiksi monimutkaisten laitteistojen rakentaminen ennen luennon alkua säästää aikaa konkreettisesti. Samanaikaisesti demonstraation avulla voidaan opettaa opiskelijaa mittalaitteiden, kemian työmenetelmien sekä reagenssien oikeaoppiseen käsittelyyn.

Lisäksi opettaja kykenee kontrolloimaan oppimisprosessin suuntaa. Koska opettajalla on opiskelijoita enemmän tietoa ilmiöistä ja niiden perusteluista, voi hän ohjailla opiskelijoiden oppimista haluttuun suuntaan erityisesti kyselemällä (54). Toisaalta herättäessään mielenkiintoa, demonstraatio saa opiskelijoissa aikaan kysymyksiä ja opiskelija osallistuu tuntiin aktiivisemmin(32).

3.2. Demonstraatiot oppimisen tukena

Kemian oppimisprosessissa kysellään, havainnoidaan, koetaan, ajatellaan, tehdään, tutkitaan ja tulkitaan. Kokeellisuudella on paikkansa siinä osassa prosessia, jossa etsitään vastauksia kysymysten ja omien havaintojen pohjalta(57). Kokeellinen työskentely voidaan Gottin ja Dugganin mukaan jakaa viiteen luokkaan sen mukaan onko tehtävä työ taitoja harjaannuttava vai korostaako se havainnointia, keksimistä, todentamista tai tutkimusta (22). Kokeellisuuden avulla rakennetaan opiskelijalle pääomaa, jota hän voi hyödyntää monin tavoin myöhemmässä elämässään(58). Kemian tutkijalle luonnontieteellisen ajattelutavan omaksuminen on erittäin tärkeää (55).

Demonstraatioita voidaan käyttää monipuolisesti kemian oppimisen tukena. Tavoitteen avulla määritellään tapa, jolla demonstraatio esitetään. Esitystavan mukaan demonstraatiot voidaan jakaa kolmeen ryhmään - niihin joissa ilmiö havainnollistetaan mallin avulla, niihin jotka perustuvat analogian käyttöön, ja niihin, jotka ovat todellisia kokeita(32). Demonstraatio-opetuksen tavoitteet noudattelevat kokeellisen opetuksen yleisiä tavoitteita. Kokeellisuuden avulla innostetaan opiskelijaa kemian opiskeluun, lisätään viihtyvyyttä ja kasvatetaan motivaatiota, hahmotetaan kemian tieteellistä luonnetta sekä tuetaan kemian tietojen ja taitojen oppimista (39; 54). Hodsonin mukaan kokeellisuudella on kolme tavoitetta. Hänen mukaansa opiskelijan on tarkoitus ymmärtää tiedettä, oppia ymmärtämään tieteestä ja tehdä tiedettä - näistä kaksi ensimmäistä soveltuvat myös demonstraatio-opetuksen tavoitteiksi (55).

Demonstraatiion ensisijaisiksi tavoitteiksi eivät sovi oppijan persoonallisuuden tai vuorovaikutustaitojen monipuolinen kehittäminen, vaikka opettajan ja opiskelijoiden väliseen viestintään tulee kiinnittää huomiota ja dialogisuudella on merkittävä osuus demonstroitaessa(55). Tavoitteeksi voidaan sen sijaan asettaa esimerkiksi kriittisen ajattelun, ongelmanratkaisukyvyyn tai luovan ajattelun kehittäminen, opettaminen yhteisvastuulliseksi tai jokin syvällisempi luonnontieteen filosofinen periaate(54). Jarkko Lampiselän tavoin totean kuitenkin tässä, ettei ole mitään syytä tavoitella kaikkien edellä esitettyjen tavoitteiden toteutumista demonstraatio-opetuksen keinoin, eikä varsinkaan yksittäisen demonstraation aikana. Lampiselkä esittääkin demonstraatio-opetukseen liittyviksi tavoitteiksi esimerkiksi oppijan ajattelun aktivoimisen, luonnontieteellisen ajattelutavan omaksumisen sekä luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden selvittämisen. Itsestään selvää on, että kemian sisältöjen opettaminen on yksi demonstraatio-opetuksen keskeisiä tavoitteita kemian opetuksessa.

Kun demonstraatio toimii oppimisprosessissa käynnistäjänä ja syväoppimisen alkuun saattavana tekijänä (54; 55), se luo pohjaa kemian syvällisemmälle ymmärtämiselle. Demonstraatio saa aikaan välitöntä pintaoppimista, mutta myös pitkäkestoisempaa syväoppimista. Pintaoppimisella tarkoitetaan yksittäisten tietojen hallintaa ja muistamista, ja syväoppimisella näiden yksittäisten faktatietojen järjestäytymistä tietorakenteeksi.

Demonstraatioiden avulla opittava asia voidaan sitoa kemialliseen kontekstiin. Demonstraation vahvuus onkin selkeän ja aidon elävän tilanteen luominen (59). On oletettavaa, että kaikki kontekstiin sidotut työtavat ovat toimivampia tapoja, kuin pelkkä asioiden läpikahlaus (8). Jos opetuksessa korostetaan vain faktoja, sanastoa, määritelmiä, algoritmeja ja perustaitoja käytännön työn ja tutkimisen tuovan korkeamman ajattelutaidon sijaan, on vaarana, että ilmiökeskeisyys unohtuu (3; 55). Puhe on myös helpompi ymmärtää väärin kuin demonstraatio. Lisäksi demonstraatio työtapana lisää opiskelijan tarkkaavaisuutta ja aktiivisuutta, mikä taas mahdollistaa oppimisen.

3.2.1. Kemian tiedon hankinta

Kemiallisen tiedon hankinta perustuu empiriaan. Ilman kokeellisuutta kemia ei edes ole elävä tiede (5). Kokeellisuuden avulla selvitetään ympäröivän luonnon rakenteita, ilmiöitä ja niiden selityksiä havainnoin. Tutkimusryhmien hyvin suunnittelemissa kokeilla saadaan vastauksia kysymyksiin havainnoimalla ja mittaamalla laboratorio-olosuhteissa. Eksaktille luonnontieteelle tyypillisesti kokeelliset tutkimustulokset pyritään ilmaisemaan ilmiöiden säännönmukaisuuksia esittävinä lakeina. Tutkimuksen tulokset on julkaistava ja asetettava kritiikille alttiiksi, sillä uusi tieto voidaan hyväksyä vasta, kun kansainvälinen tiedeyhteisö on hyväksynyt kokeellisesti todennetut tulokset (36; 58).

Klassisesti tieto määritellään tosi uskomukseksi, joka on hyvin perusteltu. Perustelu erottaa tiedon luulosta. Totuus ja perusteltavuus yhdessä tekevät informaatiosta tietoa. Vuosikymmeniä sitten opettaja valikoi opiskelijalle tiedon informaatiosta, mutta nykyisin informaation muuttaminen tiedoksi on yksilön tehtävä itse (8).

Demonstraatio-opetuksessa tiedon hankinta tapahtuu olennaisesti muuttujiin pelkistetystä kontrolloiduissa olosuhteissa esitetystä kokeesta. Siitä saatu tieto perustuu pääasiassa aistihavaintoihin tutkittavan kohteen ominaisuuksista. Tieteellisen tiedon hankinta sisältää silti aina myös käsitteellistä ainesta ensihahmotelmina. Havaitseminen ja mittaaminen ovat olennainen osa kokeellisuutta (54).

Havaintojen hyödyllisyys ja laatu riippuvat havainnoitsijan kyvystä ja tietotasosta. Yksilö tarkastelee tekemiään havaintojaan aina omien aiempien oppimiskokemuksiensa pohjalta. Aikaisempi tieto määrittää sen, mitä havaintoja opiskelija tekee ja miten hän havaintonsa selittää. Havaitsemiselle on ominaista tiedon valikointi, sillä ympäristöstä on aina tarjolla informaatiota yli havainnointikyvyn ja ihmisen hetkellinen tiedon käsittelykyky on rajallinen. Mitä tarkemmin havainnoitsija tekee havaintoja kohteesta, sitä vähemmän hän pystyy tekemään havaintoja ympäristöstään. Riittämättömillä ennakkotiedoilla varustettu opiskelija ei välttämättä havainnoi oikein tarkastelussa olevaa tapahtumaa tai ilmiötä ja voi jopa nähdä ilmiössä aivan jotain muuta kuin oli tarkoitus. Ennakkotiedoista johtuen myös oppimistapahtumaan osallistuneiden opiskelijoiden oppimistulokset eroavat toisistaan.

Olisi tärkeää, että opiskelijat ymmärtäisivät, etteivät kaikki ilmiöstä tehtävät havainnot ole samanarvoisia ja yhtä oleellisia (58). Demonstraatio-opetuksen avulla voidaan

ohjata opiskelijaa erottamaan tärkeät asiat toisarvoisista ja yhdistämään yksittäiset tiedot laajempiin kokonaisuuksiin. Samalla opitaan arvioimaan hankitun tiedon totuutta sekä ymmärretään kokeiden tekeminen osana luonnontieteellistä tiedonhankintaa ja tieteenmuodostuksen prosessia. Demonstraatio-opetukseen osallistuvat jakavat uuden tiedon keskenään, aivan kuten tutkija jakaa oman tietonsa tiedeyhteisön kesken(58).

3.2.2. Käsitteen muodostaminen

Kemian opetuksessa haaste on mikro-, makro- ja symbolisen maailman läsnäolo sekä käsitteiden abstraktius(21; 55; 60; 61). Mikrotasolla tarkoitetaan meiltä suoranaisesti näkymättömissä olevaa partikkelitasoa. Makrotaso on se taso, jota voimme konkreettisesti havainnoida ja nähdä. Symbolinen taso puolestaan kuvaa kemiallisten kaavojen ja termien käyttöä yhtälöissä ja kemian esittämisessä. Näiden kolme tason avulla kemialliset käsitteet ja ilmiöt rakennetaan yhteneväisiksi ja ymmärrettäviksi kokonaisuuksiksi.

Itse atomitasolla tapahtuvaa ilmiötä emme voi nähdä, joten on tärkeää nähdä mitä kemiallinen ilmiö saa aikaan. Siksi opetuksessa on hyödynnettävä makrotason kokeellisuutta. Toisaalta sama pätee myös toisin päin: kemiassa on harvoin mahdollista ymmärtää makrotason ilmiöitä hyödyntämättä mikrotason esityksiä ja havainnollistavia malleja. Luontevissa yhteyksissä opiskeltavat käsitteet luovat tilaisuuden käyttää niitä asiallisesti ja oikeissa yhteyksissä Kemian opiskelusta ei saa tulla uuden kielen omaksumista ilman elävää kontaktia kemian ilmiöihin. Ilman kokeellisuutta monet termit ja käsitteet jäävät vaille ymmärrystä. Kemian tiedon ymmärtäminen edellyttääkin kaikkien kolmen tason käyttämistä. Merkityksellisestä oppimisesta puhutaan, kun oppija osaa rakentaa ymmärtämystään kaikilla näillä kolmella tasolla, sekä kykenee soveltamaan aikaisemmin opittua. Jos opiskelija turvautuu menestyäkseen ulko-opiskeluun, ei opiskelija saavuta aitoa kemian ymmärtämistä. Erityisesti yliopisto-opiskelussa tieteellisen ajattelun kehittyminen olisi tärkeää. Asiakokonaisuuksien syvälinen ymmärtäminen on tavoiteltavaa pätevyuden kehittämiseksi.

Demonstraatio voi toimia arkitiedon ja tieteellisen tiedon välisenä siltana. Tällöin se lähentää konkreettista ja abstraktia ajattelua. Siksi demonstraatiota käytetäänkin usein ilmiöiden havainnollistamiseen ja abstraktien käsitteiden konkretisointiin(55). Myös mallintamisen avulla voidaan havainnollistaa monia asioita(21). Mallien rakentaminen on luovaa toimintaa, jossa tarvitaan apuna havaintoja.

Havaitseminen auttaa opiskelijaa liittämään uudet käsitteet ja periaatteet aikaisempiin tietoihin. Käsitteet selittävät ja jäsentävät ilmiöitä. Käsitteet voidaan jakaa niiden merkitysten perusteella kolmeen luokkaan – olioihin, ilmiöihin, suureisiin ja malleihin. Mallien, olioiden ja ilmiöiden välille ei kuitenkaan voida asettaa tarkkaa rajaa, sillä niitä tarkasteltaessa joudutaan tekemään idealisointeja (58). Käsitteet eivät ole todellisia, mutta tietoa on mahdollista esittää ja siirtää vain käsitteiden avulla(8)

Harkitulla ja suunnitelmallisella kokeellisuudella voidaan tukea käsitteen muodostumista, sillä havainnoilla, tiedolla ja käsitteillä on selvä yhteys. Todellisuutta koskeva tieto perustuu havaintoihin. Havainnoista tulee käsitteitä kuitenkin vain oppijan

oman toiminnan seurauksena. Parhaiten kokeellisuus tukeekin käsitteen muodostumista, kun opiskelijalle jää aikaa omiin havaintoihin, pohdintaan ja ajatteluun. Tällöin opiskelija käyttää aktiivisesti korkeampia kognitiivisia prosesseja eli korkeampaa ajattelua (17; 47).

Demonstraatioon avulla voidaan tukea opiskelijaa prosessoimaan tietoa ja tallentamaan sitä pitkäkestoiseen muistiin (58). Jos demonstraatiosta työmuistiin saapunut havainto muuttaa pitkäkestoisessa muistissa ollutta tietoa, uuden tyyppinen tieto varastoituu pitkäkestoiseen muistiin (55). Jotta demonstraatioon avulla hankittu tieto säilyisi pitkäkestoisessa muistissa ja olisi tarvittaessa palautettava mieliin, on opiskelijaa tuettava tiedon prosessoinnissa ja uudet käsitteet ja periaatteet opiskelijan aikaisempiin tietoihin (62). Muistaminen on kykyä löytää ja käyttää informaatiota uusissa tilanteissa, kykyä perustella ja argumentoida tietoa sekä kykyä liittää informaatiota laajempiin yhteyksiin. Tällaista kutsutaan ymmärtäväksi oppimiseksi..

Käsitteen ymmärtämiseen kuuluu yksittäisten tietojen käsitteiden monipuolinen soveltaminen ja muodostaminen. Käsitteellinen ymmärtäminen on luonnontieteellisten ideoiden ymmärtämistä, eli sen oivaltamista miten asiat kytkeytyvät toisiinsa. Yksittäisen käsitteen ymmärtäminen tapahtuu vähitellen käsitteen hahmottamisen ja omaksumisen kautta. Menetelmällinen ymmärtäminen sisältää vastaavasti kaiken yksittäisistä taidoista luonnontieteellisen menetelmän soveltamiseen käytännön ongelmien ratkaisemiseksi. Taitoihin luetaan niin kädentaidot kuin koejärjestelyn pystyttämisen, taulukoiden ja graafisten esitysten lukemisen ja tulkitsemisenkin taidot (63).

Ennakkokäsitysten ja uuden tiedon välisestä ristiriidasta seuraa parhaimmillaan uusi, oikea ymmärrys oppimisen kohteesta. Tällaista ristiriitaa, joka herättää mielenkiinnon oppimista kohtaan kutsutaan kognitiiviseksi konfliktiksi. Sen seurauksena opiskelija tulkitsee ja rakentaa jatkuvasti merkityksiä, eli oppii. Kognitiivisessa mielessä opiskelija toimii tällöin hyvin aktiivisesti, vaikka päällepäin näyttää siltä, että kyse on vain passiivisesta informaation vastaanottamisesta (47). Käsitteen muutos tapahtuu, kun käsitteen ymmärtäminen muuttuu. Käsitteen muokkautuminen taas tapahtuu joko uutena näkemyksenä tai käsitteen rakenteellisenä vahvistumisena. Jos käsitteen merkitys ei muutu paljon, oppiminen on helpompaa.

Oppijat luovat aktiivisesti myös uusia virhekäsityksiä sekä oman oppimisensa, että opettajan opetuksen seurauksena. Demonstraatio-opetuksella voidaan tavoitella myös virhekäsitysten pois oppimista ja uusien käsitysten poisoppiminen siten, ettei virhekäsityksiä syntyisi. Tätä edesauttaa työtavan opettajajohtoisuus (55).

Mitä useamman käsitteen täytyy muuttua, sitä vaikeampaa ennakkokäsitysten muuttaminen on. Vaarana on myös vaihtoehtoisten käsitysten syntyminen. Vaihtoehtoiset käsitykset voivat olla jopa voimakkaampia kuin ennakkokäsitykset. Siksi opetuksessa tulisikin painottaa enemmän ennakko- kuin vaihtoehtoisia käsityksiä. Ennakkokäsitykset voidaan joko hyväksyä tai hylätä esimerkiksi kokeellisuuden avulla, kuten demonstraatio-opetuksella (47).

Pelkkä tunnistaminen ja muistaminen eivät riitä osoittamaan asian omaksumista ja hallintaa. Käsitteitä, lakeja ja teorioita on kyettävä käyttämään erilaisten tilanteiden kuvaamisessa ja selittämisessä(49). Opiskelijan käsitteiden hallintaa voidaan selvittää esimerkiksi käsitekarttojen avulla. Itse luotu käsitekartta on havainnollinen, yksinkertainen ja antaa runsaasti tietoa tekijänsä ajattelusta(8).

3.2.3. Luova ja kriittinen ajattelu, sekä ongelmanratkaisukyky

Luovan ja kriittisen ajattelun sekä ongelmanratkaisun taidot ovat korkeamman tason ajattelutaitoja (engl. higher-order thinking skills (HOTS)). Koska korkeamman tason ajattelutaidot ovat keskeisiä kemian tieteellisessä ymmärtämisessä, on tärkeää tukea niiden kehittymistä opiskelijoille(21). Näin ovat todenneet myös koulutuksen kehittämisohjelman lukuvuosille 2009–2015 suunnitelleet, sillä lukuvuoden 2010–2011 teemaksi on asetettu opiskelijoiden henkisen kasvun ja tieteellisen ajattelun tukeminen. Tavoitteena on erityisesti lisätä opiskelijoiden luovuutta ammatillisissa tehtävissä ja ongelmanratkaisussa (11). Korkeamman tason ajattelutaitoja käytetään esimerkiksi, kun tietoja lajitellaan, analysoidaan, sovelletaan tai arvioidaan, ratkaistaan ongelmia, määritellään syy-seuraussuhteita, reflektoidaan, tehdään päätöksiä tai rakennetaan uutta tietoa. Kemistit käyttävät tieteellisiä ajatteluprosesseja niin teorian luomisessa, kokeen suunnittelussa, hypoteesin testauksessa, tulosten esittämisessä, kuin tieteellisesti julkaistessaankin (61).

Edellä mainittujen asioiden valossa luova ajattelu on selvästi keskeinen kognitiivinen prosessi kemiassa ja siksi luovuuteen tuleekin kannustaa (64). Luova ajattelu edellyttää motivaatiota, sinnikkyyttä, sopivaa oppimisilmapiiriä, virikkeitä sekä luovan ajatteluprosessin harjoitusta. Demonstraation avulla voidaan kannustaa luovuuteen silloin, kun demonstroitu ilmiö herättää kysymyksiä, joihin ei ole olemassa ilmiselvää ja yksiselitteistä vastausta. Tällöin demonstraatioon sisältyy toimintaa ja erilaisia oppimisen mahdollisuuksia(54).

Luonnontieteellistä tutkimusprosessia muistuttavan demonstraation avulla voidaan edistää kriittisen ajattelun taitojen kehittymistä. Demonstraation aikana kriittistä ajattelua hyödynnetään jo havaintojen valikoinnissa, mutta myös tutkimuksessa käytettyjen metodien ja lähdeaineistojen luotettavuus ja käyttökohteet on arvioitava. Halu päätellä ja kohdata haasteita sekä totuudenkaipuu vievät kriittistä ajattelua eteenpäin. Parhaimmillaan opiskelija toimii kuin tieteellisesti merkittävää tietoa etsivä tutkija. Hakiessaan ja arvioidessaan tietoa tehokkaasti, opiskelija kehittää myös oppimaan oppimisen taitojaan. Kriittisesti ajatteleva ei hyväksy informaatiota tiedoksi perustelematta, eikä opettajakaan voi olla pelkän arvovaltansa ja asemansa perusteella oikeassa, vaan hänenkin on kyettävä perustelevaan ”oikea tieto”(8). Käytännössä kemian oppiminen edellyttää myös, että opiskelijat tarkastelevat ennakkokäsityksiään kriittisesti liittäessään kokeista ja teorioista saatavat uudet tiedot aikaisempiin tietoihin(17; 6).

Kun demonstraatio pohjautuu johonkin ongelmaan, kehittyvät sekä luovat, että strategiset ongelmanratkaisutaidot (luku 2.3.4 Ongelmaperustainen oppiminen).

Ongelmanratkaisutaidot edellyttävät monipuolisten taitojen kehittämistä sekä ongelmanratkaisustrategioiden tuntemista(21). Myös esitettäessä demonstraatio induktiivisesti, voidaan opiskelijoiden mielenkiintoa pitää yllä arvoitusten tavoin. Induktiivinen demonstraatio voidaan karkeasti määritellä demonstraatioksi, jossa opettaja esittää runsaasti kysymyksiä. Kysymykset motivoivat ajattelemaan ja arvailemaan demonstroidun ilmiön lainalaisuuksia. Samanaikaisesti opettaja voi kysymyksillään varmistaa, että opiskelijat ovat ymmärtäneet ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden. Induktiivista demonstraatiota voidaan käyttää myös jonkin työvaiheen tai mittalaitteen käytön opettamisen yhteydessä(54). Myös demonstraation havaintojen tekovaiheessa voidaan hyödyntää luovan ongelmanratkaisun taitoja. Havaintojen tekoa voidaan monipuolistaa tarkastelunäkökulmaa vaihtamalla tai tarkastelemalla ilmiön luonnetta monipuolisesti(58).

3.3. Demonstraation suunnittelu

Demonstraatioon suunnitteluun kannattaa alusta alkaen panostaa. Huolellisesti suunnitellusta demonstraatiosta on todennäköisesti hyötyä myöhemminkin. Hyväksi havaittua demonstraatiota voi hyödyntää lukuisia kertoja opetusvuosien aikana. Arvioimalla demonstraation hyviä ja huonoja puolia heti esittämisen jälkeen, voi demonstraatioon tehdä parannuksia, eikä tule toistaneeksi virheitään myöhemmin.

3.3.1. Suunnittelun lähtökohtia

Kemia tänään -tutkimuksessa paljastui, että peruskoulun ja lukion opettajien mielestä hyvä kokeellinen työ on sellainen, joka tukee teorian oppimista ja on oppilasta motivoiva. Käytännössä demonstraation ominaisuuksiin kuuluu selkeys ja selvä tulos. Hyvää koetta kuvailtiin myös yksinkertaiseksi, helpoksi, arkielämään liittyväksi, turvallisesti toteuttaa, lyhytkestoiseksi ja avoimeksi. Esiin tulivat myös ajatukset oppilaan monipuolisesta kehittämisestä esimerkiksi keskustellen ja yhdessä pohtien ennen ja jälkeen kokeellisen työn (22). Näitä kriteereitä on mielestäni hyvä tavoitella suunniteltaessa demonstraatiota yliopisto-opetukseenkin.

Suunnittelutyö lähtee yleensä liikkeelle opetettavasta käsitteestä, laista, ilmiöstä tai muusta aiheesta opiskelija mielessä pitäen. Tarkoitus on havainnollistaa ja todistaa opiskelijalle ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välistä yhteyttä. Demonstraatio on siis opiskelijaa, ei opettajaa varten.

Monimutkaiset opetuskokonaisuudet on hyödyllistä jakaa osiin ja jokaiselle osalle suunnitella oma demonstraatio. Myös yksittäisen demonstraation jakaminen vaiheisiin on joskus tarpeellista. Toistavasta osittaisoppimisesta puhutaan, jos vaiheittain etenevä demonstraatio esitetään joka kerta aloittaen alusta ja liikkuen aina yhden vaiheen eteenpäin.

Puheen ja näyttämisen ajoituksella voidaan vaihdella demonstraation luonnetta. Syytä on kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että puheen ja näytön sisältö kohtaavat.

Tutkimuspainotteisissa demonstraatioissa korostuu kysymysten esittäminen. Kysymyksiä voi ja kannattaakin miettiä valmiiksi. Toisaalta myös opiskelijoilta voi löytyä kysymyksiä, joita on syytä miettiä etukäteen. Kysymysten ja ongelmien avulla demonstraatio-opetus saadaan oppilaskeskeisemmäksi, sillä opiskelijoiden passiivisesta tarkkailusta tulee aktiivisempaa. Kyselemällä opettaja voi myös herättää tietoisien ristiriidan ja korostaa oppimisen kannalta kriittisiä pisteitä ja oikeaa tapaa.

Demonstraatioon suunnittelussa on aihetta kiinnittää huomiota jo alusta alkaen ajan käyttöön. Huolellisesti suunnitellulla demonstraatiolla säästetään aikaa. Ennen luentoa opettaja voi koota monimutkaisia, mutta vain hetken aikaa käytettävät laitteistot valmiiksi ja säästää näin opiskelijoiden pohdinnoille ja muulle opetukselle aikaa. Kokeilemalla demonstraatiota etukäteen voi arvioida demonstraatioon kuluvaan ajan. Kohtuullisella tempolla ylläpidetään opiskelijoiden mielenkiintoa. Liian hitaasti etenevä esitys häiritsee keskittymistä ja liian nopeassa esityksessä taas opiskelijat eivät enää havaita tärkeitä asioita. Opettajan on myös turha uhrata aikaa luennosta opettelemalla demonstraation suorittamista kesken opetuksen. Epäonnistuneesta demonstraatiosta opiskelijalle jää mieleen aivan jotain muuta kuin mikä oli kokeen alkuperäinen tarkoitus.

Harjoitteludemonstraatio antaa opettajalle myös mahdollisuuden havaita demonstraation oppimisen kannalta vaikeat kohdat. Samalla mahdollisten apuvälineiden tarve selviää. Muutoinkin demonstraatioissa tarvittavien reagenssien ja välineiden valmius ja hallinta tulee tarkistaa hyvissä ajoin ennen demonstraatiota. Jos demonstraatioissa tarvitaan esimerkiksi tieto- ja viestintätekniikkaa, voi olla paikallaan suunnitella mitä tehdään, jos tekniikka pettää.

Demonstraatioissa käytettävien kemikaalien käyttöturvallisuus ja syntyvien jätteiden hävittäminen kannattaa miettiä etukäteen. Aineiden erityispiirteitä voi painottaa opiskelijoille demonstraation esitysvaiheessa. Työturvallisuudesta on huolehdittava myös, kun on kyseessä demonstraatio. Asianmukaiset työolot toimivat mallina opiskelijoille. Ensiapukaapin paikka ja omat ensiaputaidot on hyvä kerrata vahingon varalta (3; 54).

Suunnitteluvaiheessa on hyvä miettiä myös, kuinka demonstraation onnistumista ja oppimisen tukemista voidaan arvioida kokeen jälkeen. Vinkkejä on esitelty luvussa demonstraation kokoaminen ja arviointi.

3.3.2. Opiskelijoiden ennakkokäsitykset lähtökohtana

Ihminen luo arkitietoa intuitiivisista havainnoista jo lapsesta saakka. Syntyneet luulot ja uskomukset ovat usein epämääräisiä ja jopa ristiriitaisia tieteellisesti hyväksytyn tiedon kanssa. Arkikäsitteet ovat voineet saada merkityksensä niin kodin kulttuurista, asenteista, kyvyistä, tiedotusvälineistä kuin jostain yksittäisestä jokapäiväisestä kokemuksesta, ja siksi ne vaihtelevat eri ihmisillä. Suurin ongelma arkikäsitteissä kemian kannalta on se, ettei arkielämässä käydä läpi syy-yhteyksiä ja yhdistellä asioita toisiinsa (3; 17).

Olen viitannut ennakkokäsitysten merkitykseen jo aiemmin. Erityisesti konstruktivismi korostaa ennakkokäsitysten merkitystä oppimiselle(55), sillä konstruktivismissa tieto konstruoidaan, eli rakennetaan entisen tiedon pohjalle (2; 3; 6). Perusajatus on, että ihminen oppii uutta liittämällä opittavan asian olemassa oleviin tietoihin tai taitoihin. Ennakkokäsitykset ovatkin ikään kuin uuden tiedon ankkureita. Jollei uutta tietoa liitetä vanhaan, tapahtuu vain rutiininomaista ulkoa oppimista.

Ennakkokäsitykset ovat usein hyvinkin pysyviä. Kemian kannalta oikeammat käsitteet ja mallit saattavat olla opetushetkellä opiskelijalle uskottavia, mutta myöhemmässä vaiheessa vanhat ja virheelliset ennakkokäsitykset nousevat pintaan, jos oikeita käsitteitä ja malleja ei ole liitetty aiempiin tietorakenteisiin. Toisaalta täysin uusien asioiden kohdalla opiskelijalle saattaa jäädä ainoaksi keinoksi opiskella asia ulkoa. Näin on erityisesti silloin, kun opiskelijalla ei ole asiasta mitään kokemuksia tai hänen ajattelurakenteensa eivät ole vielä kyllin kehittyneet.

Itse asiassa luonnontieteellisten ilmiöiden ennakkokäsitysten tutkimus on lähtenyt liikkeelle väärinkäsityksistä. On huomattu, että väärinkäsityksiä esiintyy joka puolella maailmaa ja jokaisella opetuksen tasoilla alakoulusta yliopistoon.

Perinteinen esimerkki kemiallisista virhekäsityksistä keskusteltaessa on teräsvillan palaminen (17). Jo peruskoulussa on mahdollista näyttää demonstraatio, jossa opettaja polttaa teräsvillaa ja punnitsee teräsvillan massan sekä ennen, että jälkeen kokeen. Oppilaat havaitsevat teräsvillan muuttuvan painavammaksi. Selitykseksi he kuulevat teräsvillassa olevan raudan yhdistyneen hapen kanssa ja muodostaneen rautaoksidia, joka on luonnollisesti painavampaa kuin rauta. Valitettavasti osa oppilaista unohtavaa suoritettua demonstraation ja vastaa kuukausien kuluttua kokeesta teräsvillan palamisesta muodostuvan palamistuotteena hiiltä, ja tuotteen olevan lähtöainetta kevyempää. Tämä on osoitus oppilaiden ennakkokäsitysten pysyvyydestä. Puun palaessa muodostuu hiiltä, joten oppilaat hyödyntävät alkukantaista alkemiaa ja kuvittelevat myös raudasta muodostuvan palaessa hiiltä. Flogistonteorian kanssa taas leikitään silloin, kun ”ainetta häviää”. Flogistonteoriaksi kutsutaan palamisteoriaa, jossa palavasta aineesta poistuu palaessa näkymätöntä tuliainetta, flogistonia (65). Kemian tutkimuksessa on tärkeää, että jokainen luulo, hypoteesi ja malli on kyseenalaistettava ja pyrittävä testaamaan kokeellisesti, siksi niin on tehtävä myös opetuksessa kriittisten taitojen kehittämiseksi.

Ollessaan tietoinen opiskelijoiden ennakkotiedoista ja lähtötasosta, opettaja voi suunnitella opetuksensa sellaiseksi, että opiskelijoiden puutteelliset tai virheelliset käsitykset saadaan muutettua uusiksi kemiallisilla selityksillä ja uusista käsitteistä tulee opiskelijan kannalta mielekkäitä ja järkeviä. Jo ensimmäisestä kerrasta lähtien itsestään selvien asioiden toistaminen on turhaa (57). Vain opettaja voi selvittää opiskelijaryhmänsä ennakkokäsityksiä omalla tutkimukseen suuntautuvalla opettamisellaan. Ennakkokäsitysten kartoitukseen sopivat esimerkiksi erilaiset kyselykaavakkeet.

Käsitekarttojen tai ennakkokäsitteiden (engl. advance organizer) avulla opettaja voi auttaa opiskelijaa jäsentämään ennakkokäsityksensä(1). Ennakkokäsitteiden tavoitteena

on edistää mielekästä oppimista ja jäsentää kokonaiskäsitystä. Ennakkojäsentäjä on vertauskuvallisesti kartta, jonka avulla asioiden käsittely etenee. Erityisesti suuren tietomäärän kanssa ennakkojäsentäjistä on apua.

Yksittäistä demonstraatiota varten opettajan ei ole järkevää lähteä valtavaan ennakotietojen kartoitukseen, mutta ennakotiedoista olisi silti hyvä olla selvillä, jotta demonstraatio voidaan suorittaa opiskelijoiden tasolla. Ennakotietoja on, niin peruskoulussa ja lukiossa, kuin yliopistossa mahdollista kartoittaa ensimmäisillä luennoilla tai siirryttäessä uuteen asiaan. Demonstraatio-opetuksessa ennakkokäsityksiä on luonnollista etsiä kyselemällä. Vuosien myötä opettaja osaa suunnilleen arvioida mitä opiskelijat tietävät tai olettavat tietävänsä entuudestaan. Se, että demonstraation on esittänyt jo kerran antaa seuraavia kertoja varten viitteitä osuttiinko ennakkokäsitysten olettamuksissa oikeaan. Jotta opiskelijat voivat ymmärtää demonstraation tarkoituksen, on demonstraation, niin kuin luennonkin oltava opiskelijoiden tasolla.

Tämän päivän kemian opettamisen ja oppimisen tutkimuksessa kemian ilmiöiden ja käsitteiden väärinymmärrysten kohdalla keskitytään lähinnä siihen, mitä väärinymmärryksille pitäisi tehdä (55).

Crouch, Fagen, Callan ja Mazur ovat tutkineet erilaisten demonstraatioiden vaikutusta fysiikan ymmärtämisen tukena. Tutkimusmenetelmästä johtuen tutkimustulosta voidaan hyödyntää myös kemian demonstraatio-opetuksessa. Tutkimuksessa esitettiin seitsemän eri demonstraatiota siten, että tutkimukseen osallistuneilla ryhmillä opiskelijoiden aktiivisuuden tasoa vaihdeltiin. Myös eri demonstraatioiden väleillä aktiivisuuden tasoa vaihdeltiin siten, että yksi ryhmä vain havainnoi opettajan esittämän demonstraation ja kuunteli opettajan selityksen. Toinen ryhmä muodosti henkilökohtaiset ennakko-oletukset siitä mitä demonstraatioissa tulee tapahtumaan, havainnoi demonstraation ja kuunteli opettajan esittämän selityksen. Kolmas ryhmä keskusteli ennakko-oletuksista, havainnoi opettajan esittämän demonstraation, keskusteli havainnoista ja vielä kuuli opettajan selityksen. Neljäntenä ryhmänä käytettiin vertailuryhmää, joka ei nähnyt ollenkaan demonstraatiota. Tulos oli mielenkiintoinen. Ensinnäkin vastoin yleisiä uskomuksia, opiskelijat jotka vain passiivisesti tarkkailivat demonstraatiota, oppivat vain vähän, jos ollenkaan perinteisestä demonstraatiosta. Toiseksi tutkimus osoitti, että ennakko-oletusten muodostamisessa kuluu vähän aikaa ja johtaa parempaan ymmärtämiseen. Ennakko-oletusten tekeminen myös innosti opiskelijoita(66). Tutkimuksessa fysiikan demonstraatioita esitettiin vaihdellen opiskelijoiden aktiivisuuden tasoa ja siksi se onkin mielestäni verrattavissa myös kemiallisen demonstraation esittämiseen.

3.3.3. Demonstraation esittäjä

Demonstraatio on vuorovaikutusprosessi, jossa on aina esittäjä ja vastaanottaja. Vaihtamalla esittäjää vaikutetaan esittäjän ja vastaanottajan väliseen vuorovaikutukseen (54).

Opettajademonstraatioksi kutsutaan demonstraatiota, jossa opettaja esivalmistelee ja esittää demonstraation. Tällaisen demonstraation etu on organisoimisen helppous. Samalla monimutkaisten ja kalliidenkin laitteistojen käyttö on mahdollista.

Opettaja-opiskelijademonstraatioissa opettajan avuksi laitteiston kokoamiseen tai demonstraation esittämiseen otetaan opiskelijoita. Näin demonstraatiosta tulee opettajademonstraatiota yhteistoiminnallisempi. Opiskelutovereiden mukanaolo saattaa vieläpä lisätä oppijoiden kiinnostusta demonstraatioita kohtaan.

Opiskelijaryhmädemostraatioissa opiskelijat toteuttavat demonstraation ryhmässä omilla laitteillaan opettajan antamien ohjeiden mukaisesti tai samaan aikaan opettajan kanssa hänen näyttäessään esimerkkiä. Suurin etu on oppilaiden roolin korostuminen entisestään. Opettajan vastuulle jää opiskelijaryhmien muodostaminen itsenäisesti tai ohjaten. Opiskelijaryhmä demonstraatioissa ryhmän kokoon on syytä kiinnittää huomiota. Kolmen hengen ryhmässä saadaan aikaan demokraattisia päätöksiä, joskin liian heterogeenisen ryhmän toiminta heikkenee. Liian suuressa opiskelijaryhmässä jokaiselle ryhmän jäsenelle saattaa olla myös vaikea löytää töitä.

Opiskelijakohtainen demonstraatio esitetään yksittäiselle opiskelijalle. Tällöin osa oppimista häiritsevistä tekijöistä jää pois oppimistilanteesta. Esimerkiksi ujon opiskelijan saattaa olla helpompi kysyä opettajalta mieltään askarruttanut kysymys. Opiskelijakohtaisen demonstraation oppiminen testataan opintojakson lopuksi kokeen avulla tai esimerkiksi siten, että opiskelijan tehtävä on koota demonstraatiolaitteisto tai toteuttaa jokin yksinkertainen koe ikään kuin opinnäytteenä.

Vierailijademonstraatio on kurssin ulkopuolisen henkilön esittämä demonstraatio. Esittäjä voi olla kurssin opettajan kollega, jonkin muun kurssin opiskelija, jonkin toisen oppilaitoksen edustaja tai esimerkiksi teollisuudessa työskentelevä vierailija. Vierailijademonstraatiolla tuodaan vaihtelua opintojakson muuten tuttuun ja tavanomaiseen työskentelyyn.

3.3.4. Ympäristökemia ja mikromittakaava yliopisto-opetuksessa

1970-luvulla herännyt ympäristöajattelu nosti aikoinaan ympäristökasvatuksen monien huulille. Nykyisin opiskelijaa kasvatetaan peruskoulun alaluokilta saakka ajattelemaan tietoisesti ympäristöään. Ympäristön huomioiminen on tärkeää kaikessa työskentelyssä myös yliopistotasolla. Pohdittaessa ympäristöajattelua kemiassa, törmätään väistämättä vihreän kemian (engl. green chemistry) käsitteeseen. Vihreällä kemialla tarkoitetaan pyrkimyksiä vähentää elinympäristöä kuormittavien aineiden ja kemikaalien käyttöä ja kehittää uusia, ympäristöä vähemmän vahingoittavia aineita ja menetelmiä (57). Vihreän kemian valinnoilla on vaikutusta mm. ympäristöön, jätteisiin, kustannuksiin, turvallisuuteen ja energian käyttöön(67).

Vihreään kemiaan liitetään usein kaksitoista periaatetta. Ne ovat

1. jätteen synnyn ehkäisy
2. atomiekonomia
3. vaarattomat kemialliset synteesit

4. turvallisten kemikaalien suunnittelu
5. tarpeettomien johdosten muodostumisen välttäminen
6. selektiivisten katalyyttien suosiminen
7. reaaliaikaiset analyysit saastumisen ehkäisemiseksi
8. tuotteiden harmiton hajoaminen elinkaaren lopussa
9. luonnostaan turvallisempi kemia onnettomuuksien ehkäisemiseksi
10. turvallisten liuottimien käyttö ja apuyhdisteiden käytön välttäminen
11. energian käytön minimointi, sekä
12. uusiutuvien lähtöaineiden käyttö (57; 67).

Demonstraatioiden kohdalla vihreä kemia tarkoittaa pääasiassa haitallisten aineiden käytön sekä synnyn rajoittamista. Yksi vihreän kemian ratkaisu on hyödyntää mikrokemiaa(57).

Mikrokemialla (engl. microscale chemistry) tarkoitetaan työskentelyä pienillä ainemäärillä analyttisessä tai preparatiivisessa kemiassa. Se mitä pieni määrä tarkoittaa, ei ole tarkoin määritelty. Preparatiivinen mikrokemia on käytännössä milligrammojen ja analyttinen mikrokemia mikrogrammojen suuruusluokissa työskentelyä. Kenties juuri tämän vuoksi mikrokemiasta käytetään lähes synonyyminä nimitystä mg-mittakaava.

Mikrokemian käytöllä on monia hyötyjä. Sillä alennetaan kustannuksia, koska aineiden ja tarvikkeiden hankintaan ja jätteiden käsittelyyn kuluu normaalia laboratoriotyöskentelyä vähemmän rahaa(68). Lisäksi pienten laitteistojen kokoamiseen ja siivoamiseen kuluu vähemmän aikaa ja tilaa säästyy esimerkiksi varastoitaessa (69). Työturvallisuuskulmasta katsottaessa pienempien ainemäärien kanssa työskenneltäessä turvallisuus kasvaa. Mahdollisten tulipalojen ja räjähdysten suuruusluokka sekä ilmaan haihtuvien liuotinten määrä on pienempi kuin tavallisesti kokeellisen työskentelyn yhteydessä. Turvallinen, siisti ja muut huomioonottava työskentely on kuitenkin kemikaalien kanssa työskenneltäessä aina tärkeää.

Modernin synteettisen mikrokemian pioneerina voidaan pitää professori Ronald M. Pikea. Hän on ollut kirjoittamassa ensimmäistä mikromittakaavaista kemian laboratoriotyöskentelyn kirjaa vuonna 1986. Hän myös koulutti ensimmäisiä suomalaisia mikrokemian opettajia Yhdysvalloissa 1980-luvulla. Suomessa mikrokemia otettiin käyttöön Kokkolassa noin viisitoista vuotta sitten(70).

Mikrokemia soveltuu opetuksessa kokeellisuuteen, sillä mikrokemian puitteissa tarvittavat resurssit ovat pienemmät. Pienempien ainemäärien vuoksi myös reaktioajat lyhenevät tavallisiin laboratoriotöihin verrattuna. Lisäksi mikrokemian käytön yhteydessä voidaan soveltaa erilaisia pedagogisia lähestymistapoja, kuten tutkivaa oppimista tai ongelma-perustaista oppimista(68).

Mikrokemiaa voidaan soveltaa myös demonstraatioissa. Erityisesti kennolevyjen käyttö sopii mikrokemiallisiin demonstraatioihin. Tällöin demonstraatioiden apuna tarvitaan piirtoheitintä tai muita audiovisuaalisia välineitä opiskelijoiden havaitsemisen mahdollistamiseksi. Valmiita mikrokemiallisia demonstraatio-ohjeita yliopistokäyttöön

löytyy jopa Internetistä. Esimerkiksi Peter Keusch on luonut sivuston, jossa on orgaaniseen kemiaan liittyviä mikroskaalan demonstraatio-ohjeita didaktisine vinkkeineen, sekä valmiita videoita osasta demonstraatioista(71).

Maija Aksela, Tarja Laitalainen, Marjaleena Mäkelä ja Touko Virkkala luonnehtivan ideaalin toteutuvan tulevaisuuden sellaiseksi, jossa ”aiempi kokeellinen mikrokemiallinen tieto, laboratoriolasin muotoilun renessanssi, kustannus- ja ympäristöajattelu, modernien instrumenttien käyttö ja uusi pedagogiikka luovat uuden kemian laboratorion kulttuurin”(5).

3.3.5. Demonstraatio digitaalisena oppimateriaalina

TTY:n koulutuksen kehittämisohjelman yksi tavoitteista on opetuksessa hyödynnettävän tieto- ja viestintäteknikan kehittäminen. Tarkoitus on monipuolistaa tieto- ja viestintäteknikan käyttöä. Yleisenä informaatiopalveluympäristönä sekä yhteisenä oppimis- ja opetusympäristönä yliopistolla toimii TTY:n kirjasto (11).

TTY:n virtuaaliyliopiston johtoryhmän työstämä tieto- ja viestintäteknikan visio vuodelle 2009 pitää sisällään ajatuksen tieto- ja viestintäteknikan sisällyttämisestä laitosten normaaliin opetukseen ja opiskeluun. Laitosten tulee hyödyntää tieto- ja viestintäteknikkaa opetuksessa monipuolisesti ja parhaaksi katsomallaan tavalla, kuitenkin siten, että käyttö on pedagogisesti perusteltua (72).

Käytännössä minimivaatimus vision toteutumiselle on tarvittavan infrastruktuurin löytyminen, sekä opettajien ja opiskelijoiden riittävä tieto- ja viestintäteknikan hallinta. Tarpeen vaatiessa tarjolla onkin erilaisia tukipalveluja niin opettajille kuin opiskelijoille.

Opettajien on mahdollista hyödyntää tieto- ja viestintäteknikkaa opetuksessaan muun muassa oppimisalustojen, videoteknologian, simulointien, mallinnusten ja sähköisten aineistojen avulla. Internet mahdollistaa lisäksi monien verkkopohjaisten oppimisympäristöjen käytön. Kemian ja biotekniikan laitoksella käytössä on Moodle-oppimisalusta, josta löytyvät esimerkiksi opintojaksot KEM-2100 Orgaaninen kemia, KEM-2150 Orgaanisen kemian työt 1, KEM-4000 Orgaanisen kemian jatkokurssi ja KEM-4050 Orgaanisen kemian työt 2. Moodlessa on mahdollista jakaa ohjelmistoja ja materiaaleja, päivittää ajankohtaisia asioita, palauttaa tehtäviä ja kerätä opiskelijapalautetta.

Perinteisten oppimateriaalien rinnalle viime vuosikymmenten aikana noussut tieto- ja viestintäteknikka on monipuolistanut opetuksessa käytettäviä materiaaleja ja välineitä erilaisine sovelluksineen. Oppimateriaalit ja opetusvälineet ovat opettamisen apuvälineitä ja niitä käytetään tukemaan ja konkretisoimaan opetussuunnitelman toteuttamista käytännössä. TTY:n tieto- ja viestintäteknikan vision mukaan verkko-oppimateriaaleja ja sähköisiä aineistoja tulee jo käyttää monipuolisesti opetuksessa. Verkko-oppimateriaaleja on mahdollista tallentaa ja arkistoida TTY:n keskitettyyn järjestelmään. Digitaalisten oppimateriaalien avulla opiskelijalla on mahdollisuus hankkia kirjallista informaatiota sitä tarvitessaan.

Digitaaliset oppimateriaalit ovat verkko-oppimateriaaleja. Oppimisen ja opettamisen näkökulmasta digitaaliset oppimateriaalit ovat merkittävä oppimateriaalien ryhmä.

Digitaalisilla oppimateriaaleilla tarkoitetaan digitaalista informaatiota sisältäviä aineistokokonaisuuksia, joilla on monia etuja opetuskäytössä. Ensinnäkin digitaalisen oppimateriaalin opiskelu on mahdollista missä vain ja milloin vain. Opiskelija pystyy valitsemaan opiskelutahtinsa ja kehittämään tiedonhankinnan taitojaan sekä jäsennellä informaatiota itselleen ominaisella tavalla. Toiseksi digitaalista oppimateriaalia voi käyttää monipuolisesti hyväksi monissa eri työtavoissa. Kolmanneksi tietokoneilla työskentelyn on nähty motivoivan monia opiskelijoita. Useita aistikanavia hyväksi käyttävän viestinnän on myös todettu tehostavan oppimistuloksia(8).

Digitaalisiin oppimateriaaleihin lukeutuvat esimerkiksi elektroniset kirjat. Elektroniset kirjat ovat tietokoneen näytöltä luettavissa olevia dokumentteja, joihin voi olla yhdistetty kuvaa, tekstiä ja jopa ääntä tai videoita. Internetin avulla on mahdollista lukea elektronista kirjaa mistä maailmankolkasta tahansa jonkin verkkoselaimen avulla. Jopa perinteisiä oppikirjoja löytyy elektronisina kirjoina. Tampereen teknillisen yliopiston kirjaston kautta elektronisia kurssikirjoja oli helmikuun 2010 alussa lainattavissa 92 kappaletta. Lisäksi muita elektronisia kirjoja TTY:n kirjastosta löytyy useita satoja. Esimerkkinä mainittakoon tässä työssä lähteenä käytetty Esa Poikelan vuonna 2002 toimittama kirja 'Ongelmaperustainen pedagogiikka - teoriaa ja käytäntöä'.

Tieto- ja viestintäteknikan vision mukaan niin lähi- etä- kuin monimuoto-opetukseen olisi pyrittävä lisäämään tieto- ja viestintäteknikkaa. Kemian opetuksessa tieto- ja viestintäteknikkaa voidaan käyttää hyväksi tiedonhaussa, mittauksissa, tulosten käsittelyssä, mallinnuksessa, tiedon analysoinnissa sekä tulosten raportoinnissa (22). Siksi sitä voidaankin hyödyntää myös demonstraatio-opetuksessa. Esitettäessä demonstraatio suuressa luentosalissa, voidaan audiovisuaalisten välineiden avulla parantaa näkyvyyttä jokaiselle opiskelijalle. Kytettäessä videotykkiin videokamera, saadaan lähikuvaa skreenille. Demonstraatio voidaan samalla myös tallentaa ja käyttää myöhemmin uudelleen (59). Esimerkiksi Moodleen on mahdollista tallentaa videoitu demonstraatio. Näin reaaliajassa esitetty demonstraatio on nähtävillä niin lähi-, verkko- kuin etäopetuksessakin. Mikäli demonstraatio tallennetaan, tarvitaan audio-visuaalinen välineistö ja tallennusmedia.

3.4. Näytön paikka

Demonstraation esittämiseen on tarjolla kirjallisuudessa paljon vinkkejä. Ensiarvoisen tärkeää on, että kaikki näkevät demonstraation, sillä vain esteetön näköyhteys mahdollistaa havainnoinnin. Havaintojen tekeminen on tärkeää myös ymmärtämisen ja asian omaksumisen kannalta, joten demonstraatiota esitettäessä opiskelijalle on jätettävä tarpeeksi aikaa havainnoida ja pohtia havaintojaan (57). Mikrokemiallisten tai muuten huonommin havaittavissa olevien demonstraatioiden näkyvyyttä voi konkreettisesti parantaa esimerkiksi televisioon yhdistetyn kameran avulla tai webkameran ja projektorin avulla (54).

Riittävän kova ja selkeä ääni on edellytys kuulemiselle. Myös kysymyksiin vastaavilta tai kysymyksiä esittäviltä opiskelijoilta on vaadittava ääntä. Tarvittaessa vastauksen voi toki toistaa. Opiskelijat tarvitsevat aikaa vastataksaan kysymyksiin (54).

Ajoituksella on merkitystä. Onnistuakseen, demonstraatio on esitettävä opetuksen sisältöjen suhteen oikealla hetkellä (20). Motivointidemonstraatiot usein aloittavat uuden asian.

Jotta demonstraatio todella voi motivoida, on esittäjän oltava myös itse innostunut. Elävöittäminen, dramaattisuus ja selkeys voivat luoda jopa teatterimaisen ilmeen. Demonstraation erottaa kuitenkin näytelmästä se, että se pohjautuu pelkästään luonnontieteelliseen ilmiömaailmaan ja tietoon. Jotta demonstraation tarkoitus on varmasti kaikille selvä, voi sen kirjoittaa selkeästi taululle näkyviin. Myös taululle kirjoitetut reaktioyhtälöt, symbolit ja kuvaajat ovat hyödyllisiä, eivätkä katoa mielestä puhutun tekstin tavoin (54).

Apuna käytettävä välineistö saattaa häiritä oppimista. Liian monimutkaiset välineistöt peittävät itse ilmiön alle. Jokainen käytettävä laite on syytä ainakin ensimmäisellä kerralla esitellä kunnolla.

3.4.1. Demonstraatio luento-opetuksessa

Ei ole itsestään selvää mitä työtapaa käytetään demonstraatio-oppimista tukemaan (55). Luento-opetuksessa esimerkiksi induktiivinen päättely voi tavoitella demonstraatio-opetuksen kanssa samaa päämäärää. Siksi se voidaankin muokata demonstraatio-opetuksen työtavaksi. Demonstraatiossa induktiivisen työtavan lähtökohtana on välitön havainto. Yksittäisestä havainnosta johdetaan induktiivisen päättelyn avulla malli, joka kuvaa mahdollisimman hyvin tutkittavaa kemiallista ilmiötä. Induktiivisen ajattelun mallin vuonna 1967 kehittänyt Hilda Taba. Sen avulla voidaan kehittää oppijan tiedonhankinnan, käsitteiden rakentamisen ja ongelmanratkaisun taitoja. Mallin mukainen opetus keskittyy paljolti luokkiin ja luokitteluun(49). Luokittelun avulla voidaan tukea opiskelijoiden käsitteen muodostumista, sekä kehittää induktiivista ajattelua(73) Kun Taban induktiivisen ajattelun malliin lisää orientoivan vaiheen, vastaa se Krajckin uuden tiedon konstruoinnin mallia(54).

Induktiivisella päättelyllä johdetun mallin testaus voidaan suorittaa esimerkiksi toisen demonstraation avulla(39). Täydellinen induktion tie vaatisi, että lainalaisuus olisi johdettu havainnoimalla kaikkia yksittäisiä tapauksia, joihin nähden kyseessä oleva lainalaisuus on tarkoitettu päteväksi(55). Sen lisäksi, että runsaalla kyselyllä voidaan ohjata opiskelijoiden ajattelua, sen avulla voidaan myös kiinnittää opiskelijan huomio ensi hetkistä alkaen. Aloitukseen sopii esimerkiksi demonstraatiolaitteiston käyttötarkoituksen selvittäminen. Induktiivinen, runsaasti kysymyksiä sisältävä demonstraatio painottaa tutkimuksellista työskentelyä, mikä rohkaisee opiskelijoita analysoimaan ja muodostamaan hypoteeseja(54).

Jarkko Lampiselkä on laatinut induktiivisen työtapaan pohjautuvan lukio-opetukseen kehitetyn demonstraatio opetuksen mallin. Kyseinen hypoteettis-teoreettisen

modernin demonstraatio-opetuksen malli huomioi konstruktivismin vaateet ja sopii mielestäni hyvin myös luennolla hyödynnettäväksi. Malli kiinnittää huomiota oppijoiden ennakkokäsityksiin, luonnontieteellisen ajattelun kehittymiseen sekä kemian kokeelliseen luonteeseen. Sen avulla oppiminen on aktiivista tiedonhankintaa ja tapahtuu oppijakeskeisesti, vaikka työtapa on opettajajohtoinen. Demonstraation avulla voidaan erityisesti rakentaa yhteys käsiteltävän ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille siten, ettei väärinymmärrystä tapahdu.

Tämä demonstraatio-opetuksen malli rakentuu seuraavista seitsemästä vaiheesta.

1. Orientaatio (oppijoiden aikaisempien käsitysten kartoittaminen ja orientoiminen)
2. Hypoteesien tekeminen
3. Havaintojen tekeminen
4. Periaatteen määrittelemine
5. Yleistäminen ja
6. Kertaus

Demonstraatioon valmistauduttaessa opettaja sitoo demonstroitavan ilmiön ja sen kontekstin arkielämään esimerkiksi kyselemällä ilmiöön liittyviä kysymyksiä. Orientaatiovaiheen herättämien ajatusten pohjalta oppijoita rohkaistaan hypoteesien tekoon. Ongelman kannalta oleellinen tieto on tunnistettava, luokiteltava ja ryhmiteltävä. Houkuttelevien kysymysten avulla opettaja voi ohjata opiskelijaa muodostamaan käsitteitä, joita hän voi käyttää myöhemmin kohdatessaan uutta tietoa. Kyky jäsentää ja luokitella aineistoa, ja ilmaista yleisiä väittämiä, sekä tietämiään asioita omin sanoin kasvavat tällä tavalla (55).

Demonstraatiota esitettäessä hypoteesi testataan oppijoiden havainnoissa. Havainnoitsija tulkitsee demonstraatioissa tapahtuvia muutoksia ennakkotietojensa perusteella ja pyrkii ymmärtämään tapahtumia niihin tukeutuen. Havaintojen pohjalta käydään opetuskeskustelu, jonka on tarkoitus vahvistaa tai kumota hypoteesi tai määritellä ilmiölle ominainen käsite, laki tai periaate. Opetuskeskustelu antaa pohjaa oppijan omien yleiskäsitysten tekemiselle ja tietojen soveltamiselle. Lopuksi opettaja kertoo hypoteesit, havainnot ja tekee yhteenvedon opittavasta asiasta. Luonnontieteellisen tiedonhankinnan mallin tapaan tämä demonstraatio-opetuksen malli on syklinen.

3.4.2. Erilaisia lähestymistapoja ja hiljainen esitystapa

Demonstraatioon soveltuvia didaktisia rakenteita on useita (8):

- Johdettaessa havainnoista yleisperiaatteet käytetään induktiota.
- Yleistyksistä havaintoihin siirryttäessä hyödynnetään puolestaan deduktiota.
- Kun aistein havaittavista asioista edetään ajattelun ja päättelyn varassa tapahtuvaan oppimiseen, siirrytään konkreettisesta abstraktiin.
- Spiraalimaisesti edetään, kun syvennetään ja täydennetään perusrunkoa esimerkiksi seuraavilla opintojaksoilla.
- Opiskelemalla asia kerralla loppuun, edetään lineaarisesti.

Edellisessä luvussa esitetyn induktiivisen lähestymistavan lisäksi myös deduktiivinen lähestymistapa korostaa loogista ajatteluprosessin kulkua. Looginen ajatteluprosessi vain on päinvastainen - siirrytäänhan yleisestä yksityiskohtaiseen. Deduktiivinen demonstraatio testaa lähtökohtana olevaa teoreettisesti luotua mallia. Teoreettisen päättelyn käytön lisäksi huomataan, että teoreettisesti hankitulla tiedolla on merkitystä vasta, kun paikkansapitävyys kokeelliseen tietoon on todistettu.

Demonstraatio-opetusta voidaan elävöittää lisäksi historiallisella perspektiivillä. Perusajatus historiallisessa lähestymistavassa on, että opetus etenee historiallisen kehityskulun pohjalta. Kemian historian opetuksella voidaan pyrkiä keskeisten tieteellisten ideoiden historian tuntemuksen parantamiseen tai kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen vuorovaikutuksen välttämättömyyden ja havaitsevan tutkimuksen puutteellisuuden osoittamiseen kokeelliseen metodiin verrattuna(39).

Edellä olen esitellyt vain puhetta, kysymyksiä ja vastauksia sisältäviä demonstraation esitys- ja lähestymistapoja. Demonstraation esittäminen ilman puhetta on myös mahdollista. Tällöin käytetään nimitystä hiljainen demonstraatio. Hiljaiseksi demonstraatioksi sopivat yleensä riittävän yksinkertaisesti ja johdonmukaisesti etenevät työt sekä selkeät ilmiöt.

Kuten muulloinkin, demonstraation tarkoitus ohjaa hiljaisen demonstraation suunnittelua ja toteutusta. Hiljaisen demonstraation suunnitteluun on kiinnitettävä erityistä huolellisuutta oppimisen kannalta ongelmallisiin kohtiin, sillä opettaja ei voi täydentää esitystään puheella. Edelleen toteuttamalla harjoitusdemonstraatio, opettaja voi havaita demonstraatioissa ongelmakohtia, jotka hän voi vielä hioa ymmärrettävämmäksi ja paremmin havainnoitavaksi ennen opiskelijoille esitettävää demonstraatiota.

Hiljaisessa demonstraatioissa opiskelijan vastuulla on löytää tarkoitus. Hiljaisen demonstraation aloitusajankohdaksi sopii hetki, jolloin opiskelijoilla on työn kannalta riittävä ja laadukas tietomäärä. Opettaja rakentaa laitteiston ja näyttää käytettävien reagenssien nimet. Reagenssien käyttötarkoituksen päättelyminen on opiskelijan tehtävä.

Hiljaisessa demonstraatioissa korostuu opiskelijan havaintojen, muistiinpanojen ja johtopäätösten itsenäinen tekeminen. Edelleen on tärkeää, että jokainen näkee demonstraation kunnolla. Demonstraatioissa tapahtuvia muutoksia taikka muita seikkoja ei voi täydentää opettajan selityksin. Opiskelijat havainnoivat ja tekevät muistiinpanoja kaikesta havaitsemastaan. Havainnot kirjoitetaan sellaisina, kuin opiskelijat ne näkevät. Ideaalia olisi, että opiskelija ymmärtäisi havaintojen syy- ja seuraussuhteet ja erottaisi itse mahdolliset työssä ilmenneet odottamattomat havainnot. Tulosten perusteella opiskelijat kirjoittavat muistiinpanoihinsa johtopäätökset. Hiljaisessa demonstraatioissa demonstraation merkitys käytännön elämän kannalta on opiskelijan pääteltävä itse.

Ilman muistiinpanoja opettajan on mahdotonta seurata hiljaisen demonstraation oppimisvaikutuksia. Tarkastamalla muistiinpanot, opettaja voi arvioida havaintojen ja johtopäätösten oikeellisuutta. Tarvittaessa opettajan tulee toistaa koe. Demonstraation eri vaiheista voi antaa opiskelijoille lyhyen muistilistan.

Hiljaiset demonstraatiot tuovat vaihtelua tavanomaisiin työtapoihin, mutta niiden hankalamman oppimisvaikutusten seurannan vuoksi niitä käytetään harvemmin. Työmuotona hiljainen demonstraatio kehittää opiskelijan havainnointia sekä muistiinpanojen ja johtopäätösten tekemistä (54).

3.4.3. Demonstraation johtopäätökset, kokoaminen ja arviointi

Kokeellisen tutkimuksen tekemiseen kuuluu oleellisesti johtopäätöksen tekeminen. Johtopäätöksiin kuuluvat havaintojen luotettavuuden kriittinen arviointi ja tarkastelu koejärjestelyyn vaikuttaneista tekijöistä ja tilanteista. Kriittisessä arvioinnissa kokeellisen tiedon mahdolliset virhelähteet kartoitetaan ja pyritään eliminoimaan. Havaintojen tai johtopäätösten pohjalta syntyneet kysymykset ja odotukset vaativat usein lisää kokeellisia tutkimuksellisia kokeiluja.

Toisinaan demonstraation tulkinta johtopäätökseksi onnistuu kuitenkin vasta opettajan taitavan johdattelun avulla (3). Päättelemään johdattelevin kysymyksin opettaja rohkaisee ja auttaa tulkitsemaan. Näin opiskelijan päättelemis- ja ajattelutaidot saavat mahdollisuuden kehittyä. Toisaalta opiskelijoiden joukosta löytyy myös yksilöitä, jotka haluavat kuulla täsmällisen, opettajan esittämän tiedon.

Demonstraatioon vaikutuksia oppimiseen voi tarkastella erilaisilla menetelmillä. Opiskelijoita voi pyytää tekemään muistiinpanoja demonstraation aikana tehdyistä havainnoista ja mittaustuloksista ja kirjoittamaan niistä lyhyen yhteenvedon. Toisaalta opiskelijoita voi pyytää kirjoittamaan muistiin demonstraation aikana esitettyjen kysymysten vastaukset tai piirtämään kuvaajia. Opiskelijoiden vastauksista voi todennäköisesti havaita, onko asia opittu tarkoituksen mukaisesti (54). Myös demonstraation suullinen kokoaminen on mahdollista. Opiskelijoita voi pyytää tekemään yhteenvedon demonstraation tarkoituksesta ja esittää sellaisia ongelmia tai kysymyksiä, joihin vastaaminen edellyttää tietojen soveltamista. Suullisen vastauksen aikana opiskelijan kommunikoinnin ja esittämisen taidot karttuvat. Opiskelija saa myös välittömän palautteen kuulijoilta.

Luvussa yhteistoiminnallinen oppiminen (2.2.3) esitettiin eräs tapa koota demonstraatio. Ensin pari keskustele näkemästään, sitten kaksi paria keskustele ryhmässä ja lopulta koko opiskelijaryhmän näkemys saadaan muokattua. Tällöin ensin parin jäsenet ovat vastuussa itselleen ja toisilleen siitä, että he seuraavat demonstraatiota sekä paneutuvat sovittuun keskusteluun ja tuovat keskustelussa esille kaiken olennaisen. Tämän vaiheen johtopäätökset toimivat pohjana seuraavalle vaiheelle, jossa muodostetaan ryhmän yhteinen näkemys. Opiskelijat joutuvat useamman kerran perustelemaan johtopäätöksensä ja todistamaan niiden pohjautumista havaintoihin. Vastaavanlaista keskusteluprosessia voidaan hyödyntää myös oppilastöiden aikana (36).

Myös opettajan tulee jatkuvasti arvioida opetustaan ja muuttaa sitä tilanteisiin sopivaksi (74). Opiskelijoilta pyydetty suullinen tai kirjallinen arvio demonstraatiosta on hyvää palautetta demonstraation kehittämiseksi.

3.5. Demonstraatio TTY:n orgaanisen kemian opetuksessa

1800-Luvulla kemistit alkoivat systemaattisesti luokitella elävistä organismeista eristettyjä yhdisteitä. Näitä yhdisteitä ryhdyttiin kutsumaan orgaanisiksi yhdisteiksi niiden alkuperän vuoksi (75). Orgaanisille yhdisteille yhteistä on hiilen esiintyminen yhdisteiden molekyyliarakenteissa. Usein orgaaninen kemia määritelläänkin hiiliyhdisteiden kemiaksi (76 s. 1; 77). Orgaanisen kemian analyttinen tutkimus on pitkälti orgaanisten yhdisteiden rakenteen ja ominaisuuksien tutkimusta. Luonnosta löytyy silti edelleen tutkimattomia yhdisteitä. Analytiikan lisäksi merkittävä orgaanisen kemian tutkimuskohde on syntetiikka (77). Modernin orgaanisen syntetiikan pioneerina voidaan pitää saksalaista kemistiä Friedrich Wöhleriä, joka kumosi käsityksen, ettei orgaanisia yhdisteitä voida valmistaa synteettisesti. Valmistamalla ureaa, hän näytti, että joitain orgaanisia yhdisteitä voidaan valmistaa jopa käyttäen lähtöaineena epäorgaanisia yhdisteitä.

Tämän päivän käytetyimpiä orgaanisia yhdisteitä ei suinkaan eristetä luonnosta, vaan syntetisoidaan laboratorioissa. Syntetiikkaa hyödynnetään esimerkiksi lääketuotannossa ja petrokemian teollisuudessa.

3.5.1. Orgaanisen kemian opintojaksot

Tampereen teknillisellä yliopistolla on tarjolla viisi laajaa orgaanisen kemian kurssia; KEM-2100 Orgaaninen kemia (5op), KEM-2150 Orgaanisen kemian työt 1 (5op), KEM-4040 Orgaanisen kemian jatkokurssi (4op), KEM-4050 Orgaanisen kemian työt 2 (5op) ja KEM-5300 Synteesiteknologia (4op).

KEM-2100 Orgaanisen kemian opintojakson esitietona opiskelijoilla on TTY:ltä neljä kemian peruskurssia (78). Näistä peruskursseista erityisesti KEM-1300 laaja kemia 4 tarjoaa esitietoja orgaanisen kemian opintojaksolle, sillä sen sisältönä on orgaanisen ja bio-orgaanisen kemian perusteita. Itse orgaanisen kemian opintojakson tavoitteena on antaa opiskelijalle pohjatiedot orgaanisen kemian laboratoriotöille, sekä orgaanisen kemian ja polymeerikemian syventäville opintojaksoille ja biokemian opinnoille(79).

Orgaanisen kemian opintojaksolla harjoitellaan kemiallisten yhdisteiden nimeämistä IUPAC:n sääntöjen mukaisesti, tutustutaan hiiliyhdisteiden sidoksiin ja molekyyliarakenteisiin, isomerian eri lajeihin, optiseen aktiivisuuteen sekä peilikuvaisomeereihin. Täydentävänä tietämyksenä rakennetaan molekyyliä molekyylimallinnusohjelmilla. Lisäksi opitaan keskeiset orgaanisten ja bio-orgaanisten yhdisteiden luokat, esiintyminen luonnossa, käyttö teollisuudessa ja valmistusmenetelmät. Yksi tärkeä osuus ovat orgaanisille yhdisteille ominaiset reaktiot ja yleisimmät reaktiomekanismit. Lisäksi esitellään spektroskopiset analyysimenetelmät (NMR, IR ja UV-VIS) sekä massaspektrometria. Kurssilla hyödynnetään Moodle-oppimisolustaa materiaalipankkina ja ilmoitustauluna, jonka kautta myös tehtävien palautus tapahtuu.

Orgaanisen kemian opintojakson jälkeen opiskelijat pääsevät tutustumaan laboratoriotyöskentelyn kautta tiettyihin orgaanisiin reaktioihin. KEM-2150 Orgaanisen kemian työt 1 on laboratoriokurssi, jossa perehdytään orgaanisen kemian työtapoihin, eräisiin synteeseihin ja orgaanisen analyysin perusteisiin, sekä sovelletaan opittua valmistamalla ja analysoimalla orgaanisia yhdisteitä (80). Kurssille tullessaan opiskelijat ovat suorittaneet KEM-2050 kemian perustyöt -laboratoriokurssin, jonka ansiona opiskelijoilla on sekä teoreettinen, että kokemuksellinen käsitys laboratorion työturvallisuudesta ja työskentelytavoista epäorgaanisen kemian osalta. Orgaanisen kemian työt 1 - opintojakson luennoilla käydään läpi turvallista työskentelyä nimenomaan orgaanisen kemian laboratoriossa ja orgaaniseen kemiaan liittyviä synteettisiä ja analyttisiä työmenetelmiä. Luentoihin perustuva työmenetelmätentti on edellytys laboratorioiden aloittamiselle. Laboratoriossa tutustutaan funktionaalisten ryhmien reaktioihin, tehdään orgaanisia synteesejä, orgaaninen analyysi ja aminohappojen levykromatografinen erottaminen. Samalla harjoitellaan myös tuotevarmistusta fysikaalisten vakioiden ja IR-spektroskopian avulla. Laboratoriossa tehdään oppilastöitä suljetuista työohjeista työstä riippuen itsenäisesti tai parityönä.

Orgaanisen kemian osalta nämä kaksi edellä mainittua kurssia vaaditaan tekniikan kandidaatin tutkintoon (81). Perusajatus onkin, että orgaanisen kemian syntetiikasta kiinnostunut opiskelija tekee nämä kurssit suoritettuaan kandidaatin työnsä.

KEM-4040 Orgaanisen kemian jatkokurssi on opintojakso, joka on toisaalta suunniteltu syventämään tietämystä orgaanisen kemian reaktiomekanismeista ja toisaalta tukemaan orgaanisen kemian työt 2- laboratoriokurssin sujumista (82). Edellä mainittujen kurssien lisäksi opiskelijalta vaaditaan esitiedoiksi teollisen orgaanisen kemian opintojakso (KEM-5250). Orgaanisen kemian jatkokurssilla perehdytään funktionaalisten ryhmien reaktiivisuuteen. Käytännössä opiskelija oppii hahmottamaan mitä orgaanisessa reaktiossa tapahtuu ja kykenee suunnittelemaan yksinkertaisten kohdemolekyylien synteesejä (83). Jatkossa orgaanisen kemian jatkokurssi ja KEM-4050 Orgaanisen kemian työt 2 toteutetaan mahdollisuuksien mukaan rinnakkain, jotta jatkokurssin luennot tukevat optimaalisesti laboratoriotoita.

Orgaanisen kemian työt 2 on laaja laboratoriokurssi, joka jälkeen opiskelijan tulisi kyetä tieteellisten rakennehakujen itsenäiseen suorittamiseen, koejärjestelyn suunnitteluun, sekä toteutukseen. Lisäksi opiskelija oppii tekemään tieteellisen dokumentin ja varmistamaan tuloksien oikeellisuuden. Opiskelijat saavat ratkaistavikseen orgaanisen kemian analytiikkaan, molekyylihallinnukseen tai synteeseihin liittyviä ongelmia. Ennen laboratoriotoita opiskelija valmistaa annetusta aiheesta työsuunnitelman kirjallisuutta apuna käyttäen. Tavoitteena on siis, että opintojakson suoritettuaan opiskelija osaa suunnitella ja ratkaista käytännön työelämässä esille tulevia orgaanisen kemian tehtäviä ja tulkita laboratoriokokeiden tuloksia (84; 85).

KEM-5300 Synteesiteknologian tavoitteena on syntetiikkaan liittyvien menetelmien oppiminen. Kurssia voidaan pitää sisällöltään vaativana. Opintojaksolla perehdytään synteettisen orgaanisen kemian perusreaktioihin, nimoreaktioihin ja yleisimpiin

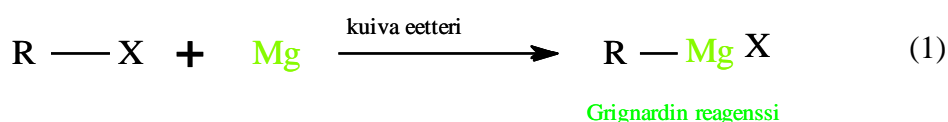
reaktiomekanismeihin. Huomiota kiinnitetään myös enantioselektiiviseen synteisiin, synteesisuunnitteluun, retrosyntettiseen analyysiin ja totaalisynteesiin. Suoritettuaan opintojakson opiskelija pystyy suunnittelemaan itsenäisesti yksinkertaisia synteeseiteittejä. Synteesiteknologia on pakollinen opintojakso niille opiskelijoille, jotka tekevät diplomityönsä orgaanisen kemian syntetiikkaan liittyen.

3.5.2. Grignard-reaktio opetuksen polttopisteessä

Organometalliyhdisteet ovat yksi synteettisen orgaanisen kemian tarjoamista mielenkiintoisista tutkimuskohteista. Grignard reagenssi on yksi tärkeimmistä organometalliyhdisteistä (76). Grignard reagenssin keksi ranskalainen orgaaniseen kemiaan suuntautunut kemisti Victor Grignard jo vuonna 1900. Grignard-reaktiolla on mahdollista valmistaa hiili-hiilisidoksia monenlaisiin yhdisteisiin. Victor Grignard palkittiin työstään kemian Nobelilla vuonna 1912.

TTY:llä viimeisin Grignard-reaktioon liittyvä kandidaatin työ oli Eero Malisen ”Grignard-reaktio vedessä”. Perinteisesti Grignard-reaktio vaatii vedettömät olosuhteet, mikä käytännössä tarkoittaa reaktion suorittamista orgaanisissa liuottimissa. Tämä taas estää tiettyjä polaarisia funktionaalisia ryhmiä sisältävien yhdisteiden syntetisoimisen. Reaktion toteuttaminen vedessä helpottaisi kemistien käytännön työtä ja kuormittaisi ympäristöä vähemmän (86).

KEM-2100 Orgaanisen kemian-opintojakson oppikirjana käytetään H. Hartin, L.E. Crainen, D.J. Hartin ja C.M. Hadadin kirjoittamaa Organic Chemistry, A Short Course -oppikirjaa. Kyseinen oppikirja esittelee Grignard-reaktion kolmen sivun mittaisena tietopakettina luvussa 8.4 (76). Kirja määrittelee Grignard reagenssit alkyyl- tai aryyylimagnesiumhalideiksi. Reaktioyhtälössä (1) RX kuvaa alkyylihalidia ja RMgX Grignard reagenssia. Grignard reagenssin muodostuessa hiili-halogeni sidos katkeaa ja sekä alkyyl- että halogeeniryhmät kiinnittyvät magnesiumiin.



Reaktiossa käytetään liuottimena kuivaa eetteriä. Eetterin hapen vapaat elektronit koordinoituvat positiivisen magnesiumin kanssa stabiloiden sen. Muodostunut yhdiste nimetään alkyylimagnesiumhalidiksi. Grignard reagenssissa alkyyl- tai aryyli-ryhmä saa usein negatiivisen varauksen ja magnesium positiivisen. Grignard reagenssit ovat voimakkaita nukleofiilejä ja siksi ne ovat erittäin reaktiivisia ja reagoivat välittömästi jopa veden kanssa. Magnesiumin kanssa kosketuksissa eivät voi olla myöskään yhdisteet, joissa on OH-, SH- tai NH- sidos, jotta Grignard reagenssi muodostuu. Käytännössä siis mm. alkoholien, karboksyylihappojen ja amiinien funktionaalisia ryhmiä ei saa olla läsnä.

Organic Chemistry, a Short Course -kirja esittelee vielä luvussa 9.9 Grignard reagenssien ja asetylidien additioreaktion sekä luvussa 10.15 esterien ja Grignard

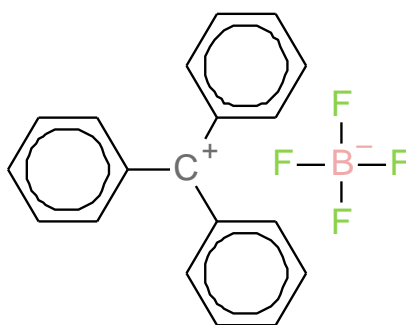
reagenssien välisen reaktion. Sekä formaledehydin, aldehydien, ketonien että estereiden ja Grignard reagenssin välinen reaktio tuottaa alkoholeja.

KEM-2150 Orgaanisen kemian työt 1-laboratoriokurssin samannimisessä opintomonisteessa on suljettu laboratoriotyöohje, jolla opiskelijat valmistavat trifenyylimetanolia parityönä (87). Grignard reagenssi valmistetaan bromibentseenistä ja magnesiumista. Valmistettu Grignard reagenssi ja metyylibentsoaatti reagoivat siten, että happolisäyksen jälkeen muodostuu trifenyylimetanolia. Reaktiossa muodostuu välituotteena bentsofenonia ja mahdollisena sivutuotteena bifenyylä. Koska puhtaan trifenyylimetanolin sulamispiste on 162°C , on tuote huoneenlämmössä kiinteää. Työ on orgaanisen kemian laboratoriomenetelmien kannalta monipuolinen. Työn aikana opiskelijat kuivaavat eetteriä, refluksivat, tislavat, ajavat TLC-näytteitä, erottelevat nestefaaseja toisistaan, pesevät, sekä uudelleenkiteyttävät.

Orgaanisen kemian jatkokurssin ja synteesiteknologian oppimateriaalina on Claydenin, Greevesin, Warrenin ja Wothersin Organic Chemistry. Kyseinen kirja on mielestäni kaikin puolin vaikuttava teos. Kirjan tekijät ovat toivoneet kysyneensä kirjoittamaan teoksen, joka rohkaisee opiskelijoita, ei vain tietämään, vaan myös ymmärtämään (88). Muista oppikirjoista poiketen tekijät ovat piirtäneet lähes kaikki kirjan kemialliset rakenteet punaisina. Tämä siksi, että punaisella värillä on heidän mukaansa selkeä viesti siitä, että orgaanisessa kemiassa rakenteet ovat tärkeämpiä kuin sanat. Myös mekanismit on esitetty nuolia ja värejä hyväksi käyttäen. Organic Chemistry käsittelee Grignard-reaktion hyvin monipuolisesti ja laajasti.

On mahdollista, että tulevaisuudessa Orgaanisen kemian työt II- opintojakson laboratoriotyönä on trifenyylimetanolin ja trityyli karbokationin synteesi. Trifenyylimetanolin ja trityylikarbokationin synteesiohje on toteutettu ongelmaperustaisen oppimisen periaatteiden mukaisesti mm. kirjassa Operational Organic Chemistry – A Problem-Solving Approach to the Laboratory Course (48). Kirjaan on luotu fiktiivinen tilanne, jossa yritys haluaa kehittää uusia väriaineita vahvistaakseen markkina-asemaansa väriaineteollisuudessa.

Tilannekuvauksen jälkeen opiskelijan työtehtäväksi jää valmistaa Grignard-reaktiolla trifenyylimetanolia, muuntaa se trityylifluoroboraatiksi (suolaksi, joka sisältää trityylikarbokationin, kuva 2.) ja selvittää valmistetun tuotteen väri.



Kuva2. Trifenyylimetyyli fluoroboraatti (engl. Triphenylcarbenium tetrafluoroborate, Trityl fluoroborate)

3.5.3. Aihe-ehdotuksia Grignard-reaktion demonstraatioille

Kuten edellä on näytetty, Grignard-reaktio on paljon esillä TTY:n orgaanisen kemian kursseilla. Mahdollisina aihe-ehdotuksina Grignard-reaktion demonstroimiseksi voisivat olla esimerkiksi:

1. Eetterillä on merkittävä osa Grignardin reagenssin muodostumisen kannalta. Useimmin käytetty eetteri on dietyylieetteri, jonka käyttöä puoltaa hyvä saanto, edullisuus ja alhainen kiehumispiste. Demonstraation avulla voitaisiin esittää mitä eroa on teknisen ja pA-laatuksen eetterin käytöllä.
2. Veden läsnäolo Grignardin reagenssia valmistettaessa, sekä estää reagenssin muodostumisen, että tuhoaa jo muodostuneen reagenssin. Kohdan 1 kanssa samansuuntainen demonstraatio voisi näyttää mitä tapahtuu, jos lasitavarat eivät ole ”kuivia”. Lisäksi olisi mahdollista näyttää mitä tapahtuu jos vettä sisältävään reaktioseokseen lisätään tinaa, sinkkiä tai indiumia (vrt. Eero Malisen kandidaatin tutkielma koskien Grignardin reaktiota vedessä(86)).
3. Grignardin reagenssia syntetisoitaessa sivureaktiona esiintyy aina Wurtzin reaktio. Sopivilla konsentraatioilla ja riittävällä reaktioseoksen sekoittamisella Wurtzin reaktio voidaan kuitenkin minimoida. Demonstraatiolla voitaisiin varmistaa, että opiskelijat ymmärtävät Wurtzin reaktion merkityksen saannon kannalta.
4. Karbonyyliyhdisteen (ketoni tai aldehydi) ja Grignardin reagenssin additioreaktio on eksoterminen reaktio. Demonstraatiolla voidaan osoittaa, mitä tapahtuu, jos karbonyyliyhdiste lisätään liian nopeasti.
5. Karbonyyliyhdisteen ja Grignardin reagenssin reaktioseos altistetaan lopulta rikkihapolle tai jollekin muulle hapolle, jotta reaktiossa syntyneestä välituotteesta saadaan alkoholi. Mikäli happolisäystä ei tehdä, syntyy emulsio ja saanto jää alhaiseksi.

4. PÄÄTELMÄT

John Berryn ja Pasi Sahlbergin mukaan kolme vuosikymmentä sitten kysyttiin kuinka paljon opitaan. Nykyisin kysytään, kuinka hyvin opitaan(2)? Kemian abstrakti luonne asettaa sille opetuksessa erityistä haastetta. Myönteinen kuva kemiaa ja sen opiskelua kohtaan luodaan käsiteltäessä uutta tietoa mahdollisimman aidossa ja mielekkäässä asiayhteydessä (53). Demonstraation avulla konkreettinen kokeellisuus voidaan tuoda mukaan luento-opetukseen. Siitä saatu tieto perustuu pääasiassa aistihavaintoihin tutkittavan kohteen ominaisuuksista.

Demonstraatio-opetus on itse asiassa tehokasta. Sen avulla voidaan muun muassa tukea kemiallisen tiedonhankintaa ja käsitteen muodostamista, sekä kehittää korkeamman tason ajattelutaitoja. Lisäksi se voi olla hyvinkin motivoiva ja uteliaisuutta herättävä, jolloin se suuntaa opiskelijoiden mielenkiinnon opiskeltavaan ilmiöön tai asiaan.(32; 55). Erityisesti demonstraatio saa ajattelemaan opiskeltavaa asiaa ja herättää tiedonnälän (54). Demonstraation käytännön hyötyjä ovat esimerkiksi kustannusten säästö, ajan säästö ja työturvallisuuden kasvaminen verrattuna opiskelijoiden laboratoriotöihin.

Demonstraatioon suunnittelu lähtee liikkeelle asetetusta tavoitteesta. Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaisesti havainnoitsijoiden tasolla oleva demonstraatio on ymmärrettävä ja siksi ennakkotiedot määrittelevät missä vaiheessa opetusta demonstraatio esitetään. Suunnitteluvaiheessa pohditaan myös kuka demonstraation esittää, mitä mittakaavaa käytetään ja miten demonstraatiota hyödynnetään. Nykypäivän tieto- ja viestintätekniikkaa hyödyntämällä demonstraatio saadaan jokaisen ulottuville ajasta ja paikasta riippumatta ja sen avulla myös mikromittakaavassa suoritettut demonstraatiot näkyvät esteettömästi jokaiselle havainnoitsijalle.

Demonstraatio voidaan esittää usealla eri didaktisella rakenteella. Käytetyimpiä rakenteita ovat induktio ja deduktio. Induktio etenee yksittäisistä havainnoista yleistykseen ja deduktio yleistyksistä yksittäisiin havaintoihin. Käytännössä esimerkiksi deduktio tarkoittaa, että ensin esitellään teoria, jota sitten todennetaan demonstraatiolla.

Demonstraatioon esittämisessä hyvänä pidetään runsasta kyselyä, joka ongelmanratkaisun tavoin ylläpitää motivaatiota ja pakottaa havainnoitsijan käsittelemään aktiivisesti tietoa. Syklisenä mallina demonstraatio-opetus muistuttaa luonnontieteellistä tutkimusprosessia

Tämän diplomityön pohjalta rohkaisen kemian yliopisto-opettajia hyödyntämään demonstraatioita työtapana erityisesti luento-opetuksessa.

LÄHDELUETTELO

1. Sahlberg, Pasi. Luonnontieteiden opetuksen työtapoja. 2.-3.painos, 247s. Helsinki 1991.
2. Berry, John; Sahlberg, Pasi. Matematiikka elämään. Juva 1995. WSOY. 135s.
3. Torn, E. Kemiasta kivaa - didaktiikkaa kemian opetukseen. Keuruu 2006. Otava.
4. TTY:n kemian laitoksen kotisivu. Kemian ja biotekniikanlaitos [WWW]. Viitattu: 6. 2 2010. Saatavissa: <http://www.tut.fi/index.cfm?mainisel=17584&sel=17584&Show=29610&siteid=184&CFID=11060647&CFTOKEN=72003044>.
5. Aksela, Laitalainen, Mäkelä, Virkkala. Mikrokemiallinen laboratorio. Helsinki 1996. Opetushallitus
6. Tynjälä, P. Oppiminen tiedon rakentamisena - Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita. 1.-3. painos. Tampere 2002: Kirjayhtymä Oy.
7. Mäkelä, Samuli. Behaviorismi vai konstruktivismi-vai vain juridiikan opettaminen. In: Esa Poikela ja Sari Poikela. Laatua opiskeluun- oppiminen ja opetus yliopistossa. Tampere 2008: Juvenes Print.
8. Uusikylä, Kari; Atjonen, Päivi. Didaktiikan perusteet. 2005. WSOY
9. Lindblom-Ylänne, Sari. Sisältö- vai oppimislähtöiseen opetukseen? Sivistys.net Uutiset 29.5.2006. [WWW]. Viitattu: 9. 2 2010. Saatavissa: http://www.sivistys.net/blogit_arkisto/sari_lindblom_ylanne_sisalto_vai_oppimislähtöiseen_opetukseen_.html.
10. Yliopistolaki. FINLEX. [WWW] Viitattu: 24. 9 2009. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090558>.
11. Andersson, Paul H.; Reiman, Kirsi. Koulutuksen kehittämisohjelma vuosille 2009–2015. Tampere 2009: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: https://www.tut.fi/tutka/kehittaminen_ja_laatu/Koulut_kehittamisohjelma.pdf.
12. Lahtinen, Aino-Maija; Toom, Auli. Yliopisto-opetuksen käytäntö ja yliopisto-opettajan ammatillinen kehittyminen. In: Sari Lindblom-Ylänne ja Anne Nevgi. Yliopisto-opettajan käsikirja. 1.painos. Helsinki 2009: WSOYpro Oy.
13. Poikela, Esa. Tarvitaanko yliopistossa lehtoreita? In: Poikela, Esa; Öystilä, Satu. Tutkiminen on oppimista- ja oppiminen tutkimista. Tampereen yliopistopaino 2001. Juvenes Print Oy.
14. Poikela, Esa ja Poikela, Sari. Uusia uria opetukseen- yliopistopedagogiikkaa uudistamassa. In: Poikela, Esa; Poikela, Sari. Laatua opiskeluun- oppiminen ja opetus yliopistossa. Tampere 2008: Juvenes Print.
15. Lindblom-Ylänne, Sari. Yliopistopedagogiikassa kaksi lähestymistapaa. Sivistys.net Uutiset 24. 5 2006. [WWW]. Viitattu: 9. 2 2010. Saatavissa: http://www.sivistys.net/uutiset/sari_lindblom_ylanne_yliopistopedagogiikassa_kaksi_lähestymistapaa.html.
16. Nevgi, Anne ja Sari, Lindblom-Ylänne. Johdanto yliopistopedagogiikkaan. In: Sari Lindblom-Ylänne ja Nevgi Anne. Yliopisto-opettajan käsikirja. 1.painos. Helsinki 2009: WSOYpro Oy.

17. Ahtee, Maija; Kankaanrinta, Ilta-Kanerva; Virtanen, Lyyli. Luonnontieto koulussa. Keuruu 1994: Kustannusosakeyhtiö Otava.
18. Hakkarainen, Kai; Lonka, Kirsti; Lipponen, Lasse. Tutkiva oppiminen- järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä. 6., uudistettu painos. Porvoo 2004. WSOY.
19. Rauste-von Wright, Maijaliisa. Opettaja tienhaarassa, konstruktivismia käytännössä. Juva 1997. WSOY-Kirjapainoyksikkö
20. Lavonen, Jari ja Matti, Erätuuli. In: Tuulta purjeisiin, matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulle. Juva 1998 Atena kustannus.
21. Aksela, Maija. Supporting Meaningful Chemistry Learning. Väitöskirja 2005. Saatavissa: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/kemia/vk/aksela/supporti.pdf>
22. Aksela, Maija; Juvonen, Riitta. Kemian opetus tänään. Helsinki 1999: Edita Oy.
23. Repo-Kaarento, Saara. Yliopisto-opetuksen yhteistoiminnallinen kehittäminen. Helsinki 2006. Helsingin yliopiston Avoimen yliopiston julkaisusarja 2
24. Nevgi, Anne ja Lindblom-Ylänne, Sari. Oppimisen teorial. In: Sari Lindblom-Ylänne ja Anne Nevgi. Yliopisto-opettajan käsikirja. 1.painos. Helsinki 2009: WSOYpro Oy.
25. Poikela, Sari. Ongelmaperustainen oppiminen; Uusi tapa oppia ja opettaa? Hämeenlinna 1998. Tampereen yliopisto.
26. Reid, Norman. A scientific approach to the teaching of chemistry. RSC Publishing, 2008, Chemistry Education Research and Practice, Vol 9. The Royal Society of Chemistry Nyholm Lecture, 2006-2007. s.51-59
27. Poikela, Esa ja Öystilä, Satu. Kirjan kertomaa. Yliopistopedagogiikkaa kehittämässä - kokeiluja ja kokemuksia. Tampere 2003. Tampere University Press. s. 321-342.
28. Finnilä, Leea. Molekyylihallinnus isomeerien visualisoinnissa orgaanisen kemian lukio- ja yliopisto-opetuksessa. Diplomityö. Tampere 2007, TTY.
29. Kaksonen, Anna; Nurmi, Pauliina. Yliopisto-opetuksen kehittäminen: tapausesimerkkinä Kemian ja biotekniikan laitos, 2008. [WWW]. Saatavissa: https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/42974/Kaksonen.Anna_Nurmi.Pauliina.pdf?sequence=1.
30. Meisalo, V. Koulun tavoitteet ja työtavat. In: P. Sahlberg. Luonnontieteiden opetuksen työtapoja. 2. - 3.painos. Helsinki 1991.: Valtio painatuskeskus s. 13-20.
31. Jalkanen, Krista ja Tolvanen, Paula. Työtapojen kirjo ja mahdollisuuksien meri- Luonnontieteiden opetuksessa käytettävät työtavat ja konstruktivistinen oppimiskäsitys. Pro gradu -tutkielma 2008. Jyväskylän yliopiston opettajankoulutuslaitos.
32. Lavonen, Meisalo & al. Kokeellisuuden työtavat. Työtapaopas. [WWW]. Viitattu: 16. 6 2009. Saatavissa: <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/main.htm>.
33. Piekkari, Ulla ja Repo-Kaarento, Saara. 2.7 Yhteistoiminnallinen oppiminen yliopistossa. In: Shlomo Sharan ja Pasi Sahlberg. Yhteistoiminnallisen oppimisen käsikirja. 1.painos. Porvoo 2002. WSOY, 2002. s. 308-324.

34. Repo-Kaarento, Saara. 13. Yhteistoiminnallinen oppiminen ja ryhmäopetus. In: Sari Lindblom-Ylänne ja Anne Nevgi. Yliopisto-opettajan käsikirja. 1.painos, 2009. WSOYpro Oy.
35. Koppinen, Marja-Leena; Pollari, Jorma. Yhteistoiminnallinen oppiminen- tie tuloksiin. 1.-2.painos. Porvoo-Helsinki-Juva 1993 : Werner Söderström osakeyhtiö (WSOY).
36. Lavonen, Jari. Luonnontieteitä yhteistoiminnallisesti. In: Shlomo Sharan ja Pasi Sahlberg. Yhteistoiminnallisen oppimisen käsikirja. Porvoo 2002. WSOY, s. 221-243.
37. Näsäkkälä, E., Flinkman, E. ja Aksela, M. Luonnontieteellisen tutkimuksen tekeminen koulussa. Opetushallitus, 2001. Saatavissa: <http://www.edu.fi/julkaisut/luonnontietpalatino.pdf>.
38. Lonka, Kirsti; Pyhältö, Kirsi ja Lipponen, Lasse. Tutkimalla oppimassa - tutkiva oppiminen yliopistossa. In: Lindblom-Ylänne Sari ja Nevgi Anne. Yliopisto-opettajan käsikirja. Helsinki 2009 1.painos. Helsinki : WSOYpro Oy, s. 254-261.
39. Meisalo, Veijo ja Erätuuli, Matti. Fysiikan ja kemian didaktiikkaa. Keuruu1985. 1.painos. Otava
40. Rautiainen, Jukka A.; Aksela, Maija. Ongelmaperustainen oppiminen työtapana kemian opetuksessa. In: Kemian opetuksen keskus Helsingin yliopisto ja Kemian laitos. 2008. Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä oppimista.
41. Boud, David ja Feletti, Grahame I. Ongelmalähtöinen oppiminen : uusi tapa oppia. 1999. [käänt.] Johanna Birstedt. Terra cognita, (Hakapaino).
42. Poikela, Esa. Ongelmaperustainen oppiminen yliopistossa. In: Esa Poikela ja Satu Öystilä. Tutkiminen on oppimista - ja oppiminen tutkimista. Tampere University Press, 2001.
43. Lindblom-Ylänne, Sari; Nieminen, Juha; Iivanainen, Antti; Nevgi, Anne. Ongelmalähtöinen oppiminen ja case-menetelmä. In: Sari Lindblom-Ylänne ja Anne Nevgi. Yliopisto-opettajan käsikirja. 1.painos. 2009. WSOYpro Oy.
44. Poikela, Esa, [toim.]. Ongelmaperustainen pedagogiikka -teoriaa ja käytäntöä. 1.painos. Tampere University Press, 2002. verkkokirja.
45. Haapasalo, Lenni. Oppiminen, tieto ja ongelmanratkaisu. Jyväskylä 1994. MEDUSA-Software.
46. Valtanen, Juri. Ongelma ongelmaperustaisessa oppimisessä. In: Esa Poikela ja Sari Poikela. Ongelmista oppimisen iloa- Ongelmaperustaisen pedagogiikan kokeiluja ja kehittämistä. Tampere 2005. Vammalan kirjapaino Oy.
47. Hilska, Tiia. Sähkökemian opiskelu kokeellisuuden avulla lukiossa. Pro gradu-tutkielma 2003. Helsingin yliopisto Kemian laitos, Kemian opettajankoulutusyksikkö.
48. Lehman, John W. Operational Organic Chemistry - A problem-Solving Approach to the Laboratory Course. 3.rd edition. New Jersey 2002. Prentice-Hall, Inc.

49. Ahtee, Maija; Sahlberg, Pasi. Ajattelun kehittäminen. In: Pasi Sahlberg. Luonnontieteiden opetuksen työtapoja. 2.- 3.painos. 1991, s. 39-46.
50. Nenonen, Tiia. Opettajan rooli kokeellisuudessa. Pro gradu-tutkielma 2003. Joensuun yliopisto, Fysiikan laitos.
51. Agge, Kirsi. Vuosiluokilla 5-6 opiskellaan kemiaa. In: Aksela, Maija; Montonen, Marja. Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluihin. Osa 1 Perusopetuksen vuosiluokat 1-9. Helsinki 2007, s. 26-31.
52. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. Opetushallitus. Vammala 2004. Vammalan kirjapaino Oy. Saatavana myös: http://www02.oph.fi/ops/perusopetus/pops_web.pdf.
53. Lukion opetussuunnitelman perusteet. Vammala 2003. Vammalan kirjapaino Oy. Saatavana myös: http://www.oph.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/oph/embeds/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf.
54. Kanerva, Kaarina, Lampiselkä, Jarkko; Karkela, Lea; Ojala, Päivi. Kemian demonstraatio-opas . 1.painos, 2004. MFKA-Kustannus Oy, 2004.
55. Lampiselkä, Jarkko. Demonstraatiot lukion kemian opetuksessa. In: Veijo Meisalo. Aineenopettajakoulutuksen vaihtoehdot ja tutkimus 2002. Ainedidaktiikan symposiumi 1.2.2002. Helsinki 2003: Hakapaino.
56. Lindblom-Ylänne, Sari; Mikkonen, Johanna; Heikkilä, Annamari; Parpala, Anna; Pyhältö, Kirsi. 4. Oppiminen yliopistossa. In: Sari Lindblom-Ylänne ja Anne Nevgi. Yliopisto-opettajan käsikirja. 1.painos. Helsinki 2009: WSOYpro Oy
57. Lillberg, Johanna. Luokanopettajat ja ympäristön kokeellinen tutkiminen mikroskaalassa 5. ja 6. luokan kemian opetuksessa. Pro gradu-tutkielma 2005 Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Kemian opettajankoulutusyksikkö.
58. Lavonen, Meisalo et. al. Havaitseminen. Työtapaopas [WWW]. Viitattu: 6. 16 2009. Saatavissa: <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/havaits/index.htm>.
59. Heikkilä, Pertti. Demonstraatio. Opetusmenetelmät opetuksen monipuolistajana [WWW]. Viitattu: 16. 6 2009. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/amok/oppimat/LO/Opetusmenetelmat06a/html/demonstraatio.html>.
60. Parkkinen, Pekka. Kokeellisuus lukion kemian opetuksessa. In: J. & Lundell. J. Väliisaari. Kemian Opetuksen Päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä oppimista. Jyväskylä 2008: Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen tutkimusraportti No. 129.
61. Aksela, Maija. Kemian ymmärtämisen ja ajattelutaitojen tukeminen. Dimensio 1/2006, s. 51-53.
62. Lavonen, Meisalo & al. Malun työtapaopas. [WWW]. Viitattu 6.2.2010. Saatavissa: <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tyotapa/>.
63. Ahtee, Maija. Luonnontieteiden opettaminen ja konstruktivismi. In: Tuulta purjeisiin - matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulle. Jyväskylä 1998 Atena Kustannus, s. 138-153.

64. Koskinen, Ari ja Pihko, Petri. Laboratoriotyöt integroidaan luentoihin - Teknillisen korkeakoulun orgaanisen kemian laboratorio pyrkii Euroopan kärkiviisikkoon. *Kemia-Kemi* 2/2002, Vuosik. 29.
65. Ihde, Aaron I. The development of modern chemistry. New York 1964. Dover Publications, Inc.
66. Crouch, Catherine H.; ym. Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? American Association of Physics Teachers, Physics education research section, Vol 72, Issue 6 s. 835-838. DOI:10.1119/1.1707018.
67. Lancaster, Mike. Green Chemistry: An Introductory Text. Cambridge 2002. The Royal Society of Chemistry.
68. Csikós, Judit. Työtapojen kehittäminen opettajakoulutuksessa Kokeellisuus kemian opetuksessa-kurssilla. Pro gradu-tutkielma 2007 s.71+17. Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. Saatavissa: http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_csikos.pdf.
69. Aksela, Maija ja Karkela, Lea. Kemiaa mikromittakaavassa. *Dimensio*, 3/1992.
70. Corin-Hentelä, Ann-Charlott; Holm, Jana; Rukajärvi-Saarela, Maija. Vihreää kemiaa ja mikromittakaavaa Kokkolassa. *Dimensio* 3/2006.
71. Keusch, Peter. Demonstration Experiments & Labs, Chemistry Visialized [WWW]. Viitattu: 2. 4 2010. Saatavissa: http://www.chemie.uni-regensburg.de/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/index_e.html.
72. Timlin, Marika. Tieto ja viestintätekniiikan opetuskäytön visio [WWW]. Viitattu: 9.2.2010. Saatavissa: <https://www.tut.fi/tutka/index.cfm?MainSel=282&Sel=13575&Show=18462&NoSel=1&Siteid=1>.
73. Lavonen, Meisalo et al. Luokitteleminen. Työtapaopas [WWW]. Viitattu 6.2.2010. Saatavissa: <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/luokitt/index.htm>.
74. Virta, Arja. Uudistuva oppimisen arviointi - Mahdollisuuksia ja varauksia. Turku 1999. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunta (Painosalama). Julkaisusarja B:65.
75. Schmid, George H. Organic Chemistry. St. Louis Missouri 1996: Mosby-Year Booc, Inc.
76. Hart, Harold; Craine, Leslie E.; Hart, David J.. Organic Chemistry- A Short Course. 11. painos. New York 2003. Houghton Mifflin Company.
77. Napari, Pirjo. Orgaaninen kemia. 7. tarkistettu painos. Helsinki 2007. Opetushallitus, Edita Prima Oy.
78. Terttu Hukka. KEM-2100 Orgaaninen kemia. Opinto-opas 2009-2010 [WWW]. Viitattu: 6. 2 2010. Saatavissa: http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2009-2010/perus/laitokset/Kemia_ja_bioteknikka/KEM-2100.html.
79. KEM-1300 Laaja kemia 4. TTY-Opinto-opas 2009-2010 Perus [WWW] .Viitattu: 6.2.2010. Saatavissa: http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2009-2010/perus/laitokset/Kemia_ja_bioteknikka/KEM-1300.html.

80. Lahtinen, Riikka. KEM-2150 Orgaanisen kemian työt 1. TTY-Opinto-opas 2009-2010. [WWW]. Viitattu: 6. 2 2010. Saatavissa: http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2009-2010/perus/laitokset/Kemia_ja_bioteekniikka/KEM-2150.html.
81. Mikkonen, Raija. Kemia/Teknis-luonnontieteellinen/aineopinnot. TTY-Opinto-opas 2009-2010. [WWW]. Viitattu: 23. 2 2010. Saatavissa: <http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2009-2010/perus/opintokokonaisuuudet/Aineopinnot-KemiaTLaineopinnot.html>.
82. Tois, Jan. KEM-4040 Orgaanisen kemian jatkokurssi. TTY-Opinto-opas 2009-2010. [WWW]. Viitattu: 6. 2 2010. Saatavissa: http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2009-2010/perus/laitokset/Kemia_ja_bioteekniikka/KEM-4040.html.
83. Hakonen, Sinikka. Uusia opintojaksoja. TTY, Kemian ja biotekniikan laitos [WWW]. Viitattu: 12. 4 2010. Saatavissa: <http://www.tut.fi/index.cfm?MainSel=19480&Sel=19587&Show=32192&Siteid=184>.
84. Tois, Jan. KEM-4050 Orgaanisen kemian työt 2. TTY-Opinto-opas 2009-2010. [WWW]. Viitattu: 6. 2 2010. Saatavissa: http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2009-2010/perus/laitokset/Kemia_ja_bioteekniikka/KEM-4050.html.
85. Orgaanisen kemian työt 2. 2009-2010 [WWW]. Viitattu 15.3.2010. Saatavissa: <http://moodle.tut.fi/file.php/2386/org.kem.2.pdf>.
86. Malinen, Eero. Grignard-reaktio vedessä. Kandidaatintyö. Tampere 2009. Tampereen teknillinen yliopisto, Kemian ja biotekniikanlaitos. s. 28.
87. KEM-2150 Orgaanisen kemian työt 1. Opintomoniste 2010. Tampereen teknillinen yliopisto, Kemian ja biotekniikan laitos, Kem. s. 40-45.
88. Clayden, Jonathan; ym. Organic Chemistry. New York 2008: Oxford University Press.